



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

AUTOMATIZACIÓN DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN PARA
ELABORAR HILO INDUSTRIALES DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS PLÁSTICO CON MATERIAL PET RECICLADO EN EL
LABORATORIO DE PROCESOS

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

AUTORES: MARCO ANTONIO VÁSQUEZ OJEDA
VÍCTOR JOSÉ HUILCA CABAY
TUTOR: ING MARCO VITERI

RIOBAMBA – ECUADOR

2016

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA CONTROL Y REDES INDUSTRIALES

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: que el trabajo de titulación “AUTOMATIZACIÓN DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN PARA ELABORAR HILO PLÁSTICO CON MATERIAL PET RECICLADO EN EL LABORATORIO DE PROCESOS INDUSTRIALES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS”, de responsabilidad de los señores MARCO ANTONIO VÁSQUEZ OJEDA y VÍCTOR JOSÉ HUILCA CABAY, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dr. Miguel Tasambay PhD DECANO DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
Ing. Jorge Paucar. DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES
Ing. Marco Viteri DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN
Ing. Byron Casignia MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTOR

“Nosotros, **MARCO ANTONIO VÁSQUEZ OJEDA Y VÍCTOR JOSÉ HUILCA CABAY**, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de titulación, y el patrimonio intelectual del trabajo de titulación que pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**”.

Marco Antonio Vásquez Ojeda

Víctor José Huilca Cabay

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación dedicamos muy cariñosamente a todas y cada una de las personas que nos apoyaron e hicieron posible alcanzar esta meta, especialmente al apoyo incondicional de nuestros padres y hermanos, Janet Silvia Ojeda Arévalo, Sergio Vásquez Fuertes, Santiago Javier Vásquez Ojeda, Matheo Israel Vásquez Ojeda, Félix Eduardo Huilca Rodríguez, Narcisa de Jesús Cabay Cepeda, Mauricio Eduardo Huilca Cabay, Lenin Santiago Huilca Cabay como también a nuestros maestros docentes de la prestigiosa Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, quienes nos han impartido día a día los conocimientos necesarios para formarnos como profesionales y seres humanos.

Marco Vásquez

Víctor Huilca

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a las personas que nos apoyaron día a día con su paciencia, conocimientos, momentos inolvidables, recursos, confianza y más que nada con su sincera amistad. Sin olvidarnos nunca de nuestro segundo hogar la “Escuela Superior Politécnica de Chimborazo” y la “Facultad de Informática y Electrónica” que nos ha abierto las puertas para nuestra formación como profesionales y despidiéndonos hoy como ya ingenieros.

Marco Vásquez

Víctor Huilca

TABLA DE CONTENIDO

HOJA DE CERTIFICACIÓN	II
DERECHOS DE AUTOR	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO	V
TABLA DE CONTENIDO.....	VI
INDICE DE TABLAS.....	XI
INDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XV
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	XVI
ÍNDICE DE ECUACIONES	XVIII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XIX
RESUMEN.....	XX
ABSTRACT	XXI
INTRODUCCIÓN	1
1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	4
1.1 Hilo plástico	4
1.1.1 Introducción.....	4
1.1.2 Definición.....	5
1.1.3 Características y propiedades del PET.....	5
1.1.4 Datos técnicos del PET.....	6
1.1.5 Proceso de elaboración de hilo plástico	7
1.1.6 Factores para el moldeado del plástico	9
1.1.7 Extrusión.....	9
1.2 Automatización Industrial.....	12
1.2.1 Introducción.....	12
1.2.2 Definición.....	13
1.2.3 Objetivos de la automatización.....	14
1.2.4 Elementos básicos de un sistema de automatización.....	14
1.3 Sistema de control	15

1.3.1	<i>Características principales de un sistema de control.....</i>	<i>16</i>
1.3.2	<i>Tipos de sistema de control.....</i>	<i>16</i>
1.3.3	<i>Tipos de control automático</i>	<i>16</i>
1.3.4	<i>Control proporcional</i>	<i>17</i>
1.4	<i>PLC (Controlador Lógico Programable).....</i>	<i>19</i>
1.4.1	<i>Definición de PLC</i>	<i>19</i>
1.4.2	<i>Componentes de un PLC</i>	<i>20</i>
1.4.3	<i>Ventajas de un PLC</i>	<i>22</i>
1.4.4	<i>Elección del PLC</i>	<i>22</i>
1.4.5	<i>PLC Xinje.....</i>	<i>23</i>
1.5	<i>Lenguajes de programación de PLC's</i>	<i>26</i>
1.5.1	<i>Programación</i>	<i>26</i>
1.5.2	<i>Lenguaje de contactos o Ladder.....</i>	<i>27</i>
1.5.3	<i>Lenguaje Booleano (lista de instrucciones).....</i>	<i>28</i>
1.5.4	<i>Diagrama de funciones.....</i>	<i>29</i>
1.5.5	<i>Gráfico Secuencial de Funciones (SFC).....</i>	<i>29</i>
1.6	<i>Sistema HMI (Human Machine Interface)</i>	<i>30</i>
1.6.1	<i>Funciones de un HMI</i>	<i>31</i>
1.6.2	<i>Panel Touch WIN.....</i>	<i>31</i>
1.6.3	<i>Protocolo de Comunicación RS-232</i>	<i>33</i>
1.7	<i>Sensores.....</i>	<i>34</i>
1.7.1	<i>Definición.....</i>	<i>34</i>
1.7.2	<i>Sensor de temperatura</i>	<i>34</i>
1.7.3	<i>RTD (Resistance Temperature Detector).....</i>	<i>35</i>
1.7.4	<i>Termopar.....</i>	<i>36</i>
1.7.5	<i>Sensor óptico.....</i>	<i>37</i>
1.7.6	<i>Sensor magnético.....</i>	<i>38</i>
1.8	<i>Actuadores eléctricos</i>	<i>38</i>
1.8.1	<i>Resistencia eléctrica (Niquelinas).....</i>	<i>39</i>
1.8.2	<i>Motor eléctrico monofásico</i>	<i>41</i>
1.9	<i>Componentes eléctricos de potencia</i>	<i>42</i>
1.9.1	<i>Contactador.....</i>	<i>42</i>
1.9.2	<i>Relé.....</i>	<i>44</i>
1.10	<i>Elementos de maniobra y control</i>	<i>46</i>
1.10.1	<i>Pulsador</i>	<i>46</i>

1.10.2	<i>Lámparas de señalización</i>	46
1.10.3	<i>Conductores</i>	47
1.11	Protecciones eléctricas	48
1.11.1	<i>Fusibles y Portafusibles</i>	48
1.11.2	<i>Interruptor Magnetotérmico</i>	49
1.12	Electrónica de potencia	49
1.12.1	<i>Variador de frecuencia (VDF)</i>	49
1.12.2	<i>Tiristores</i>	52
1.12.3	<i>Diseño de circuitos impresos</i>	55
1.12.4	<i>Normas básicas para el diseño de circuitos impresos</i>	56
1.12.5	<i>Software de diseño de circuitos impresos</i>	57
CAPÍTULO II		60
2	Marco metodológico	60
2.1	Etapas de diseño e implementación de la línea de producción de hilo	61
2.2	Diseño del sistema eléctrico	63
2.2.1	<i>Cálculo de fusibles</i>	63
2.2.2	<i>Cálculo de potencia y resistencia de las niquelinas</i>	65
2.2.3	<i>Cálculo de conductores</i>	66
2.2.4	<i>Conductores Utilizados</i>	71
2.2.5	<i>Diagrama del circuito de mando</i>	71
2.2.6	<i>Conexión de entradas y salidas del PLC</i>	72
2.3	Diseño del sistema electrónico	74
2.3.1	<i>Circuito controlador de fase o DIMMER</i>	74
2.3.2	<i>Diseño de regulador de velocidad con PWM</i>	75
2.3.3	<i>Diseño de la adecuación de señales.</i>	75
2.3.4	<i>Diseño de circuito impreso del sistema electrónico.</i>	76
2.4	Diseño del cabezal (nariz) de la etapa de extrusión	78
2.4.1	<i>Diseño del caezal AutoCAD 2D</i>	78
2.5	Diseño de la etapa de enrollado	80
2.5.1	<i>Diseño de enrollamiento AUTOCAD 2D</i>	80
2.6	Programación del plc	82
2.6.1	<i>Entradas</i>	82
2.6.2	<i>Salidas</i>	82
2.6.3	<i>GRAFCET</i>	83

2.7	Programación del HMI.....	84
2.8	Implementación del sistema eléctrico	84
2.8.1	Distribución de riel DIN y canaletas.....	84
2.8.2	Disposición de fusibles, contactor, PLC, fuente y borneras.....	85
2.8.3	Cableado de dispositivos de protección y control.....	86
2.8.4	Colocación de la pantalla HMI en el tablero.....	86
2.8.5	Conexión de pantalla HMI, luces, botón de emergencia y botonera.....	87
2.8.6	Tablero terminado	88
2.9	Implementación del sistema electrónico.....	89
2.9.1	Implementación del circuito controlador de fase o DIMMER	89
2.10	Implementación del hmi	90
2.10.1	Pantalla inicial.....	90
2.10.2	Ingreso de clave de seguridad	90
2.10.3	Selección del precalentamiento	91
2.10.4	Ingreso de parámetros de funcionamiento temperatura del cabezal y tornillo	91
2.10.5	Pantalla de menú principal	92
2.10.6	Visualización de parámetros ingresados.....	92
2.10.7	Muestreo de la temperatura actual del Tornillo	92
2.10.8	Opción y visualización de actuadores	93
2.10.9	Opción acerca de.....	93
2.11	Implementación del nuevo cabezal o nariz	94
2.11.1	Vista frontal del cabezal	94
2.11.2	Vista Lateral del Cabezal.....	94
2.12	Implementación del dosificador de aire	95
2.13	Implementación del sistema de enrollado	96
CAPÍTULO III.....		97
3	MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	97
3.1	Controlador de fase o dimmer	97
3.2	Sistema de control automatico ON-OFF.....	97
3.3	Variación de temperatura en las zonas monitoreadas por el sensor de temperatura en la máquina sin automatizar.....	98
3.4	Variación de temperatura en las zonas censadas por los pt100 con la máquina automatizada.	100

3.5	Resultados de funcionamiento	102
3.5.1	<i>Etapa de niquelinas de entrada del tornillo extrusor.</i>	102
3.5.2	<i>Etapa de niquelinas de salida del tornillo extrusor.</i>	103
3.6	Consumo de potencia eléctrica de la máquina.....	104
	CONCLUSIONES.....	105
	RECOMENDACIONES.....	106
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	
	ANEXO A: MANUAL DEL PLC	
	ANEXO B: MANUAL DEL HMI	
	ANEXO C: MANUAL DE USUARIO	
	ANEXO D: DISEÑOS DEL CABEZAL Y EROLLAMIENTO FORMATO A4 EN AUTOCAD	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1	Especificaciones Eléctricas del PLC.....	25
Tabla 2-1	Especificaciones de funciones PLC.....	26
Tabla 3-1	Símbolos de los elementos básicos del Lenguaje Ladder	28
Tabla 4-1	Pantalla WIN TOUCH OP230 AS.....	32
Tabla 5-1	Ancho De Pistas Según La Cantidad De Corriente	56
Tabla 6-1	Separación De Pistas Según La Diferencia De Potencial.....	57
Tabla 1-2	Valores De Los Fusibles Instalados	64
Tabla 2-2	Valores De Conductores	71
Tabla 3-2	Entradas Digitales.....	82
Tabla 4-2	Entradas Analógicas	82
Tabla 5-2	Salidas Digitales	82
Tabla 1-3	Escala de temperaturas de plastificación del PET, logradas con el controlador . de fase.....	97
Tabla2-3	Comportamiento de las niquelinas del tronillo extrusor a 240°C, sin automatizar.....	98
Tabla3-3	Comportamiento de la niquelina del tornillo extrusor a 235°C, sin automatizar.....	99
Tabla4-3	Comportamiento de las niquelinas de entada del tronillo extrusor, set point variado en la programación y máquina automatizada.....	100
Tabla5-3	Comportamiento de las niquelinas de salida del tronillo extrusor, set point . variado en la programación y máquina automatizada.....	101
Tabla 6-3	Resultados de niquelinas de entrada del tornillo extrusor	102
Tabla 7-3	Resultados de las niquelinas de salida del tornillo extrusor.....	103
Tabla 8-3	Datos de consumo en voltaje y potencia.....	104

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	Hilo Plástico	4
Figura 2-1	Características relevantes del PET	6
Figura 3-1	Datos Técnicos	7
Figura 4-1	Proceso de elaboración de hilo plástico	7
Figura 5-1	Extrusión	10
Figura 6-1	Extrusora de un husillo.....	11
Figura 7-1	Automatización Industrial.....	13
Figura 8-1	Representación de un Sistema.....	15
Figura 9-1	Sistema con control ON-OFF	17
Figura 10-1	Sistema con Control Proporcional.....	17
Figura 11-1	Sistema con Control PI	18
Figura 12-1	Sistema con Control PD.....	18
Figura 13-1	Sistema con Control PID	19
Figura 14-1	Controladores Lógicos Programables	20
Figura 15-1	Estructura externa del PLC	21
Figura 16-1	Componentes Internos del PLC	21
Figura 17-1	PLC Xinje XC3-24 RT-E.....	23
Figura 18-1	PLC Xinje Partes.....	24
Figura 19-1	Lenguaje Booleano	28
Figura 20-1	Diagrama de Funciones	29
Figura 21-1	Gráfica de control de etapas de transición.....	30
Figura 22-1	HMI	31
Figura 23-1	Pantalla HMI TOUCH WIN	31
Figura 24-1	Dimensiones Pantalla TOUCH WIN OP320-AS	33
Figura 25-1	Sensores De Temperatura.....	34
Figura 26-1	Curva De Respuesta De Un PT100	36
Figura 27-1	Curva De Respuesta De Un PT100	37
Figura 28-1	Sensor fotoeléctrico refractivo	37
Figura 29-1	Sensor Magnético	38
Figura 30-1	Resistencia de abrazadera	40
Figura 31-1	Tipos De Calentadores Eléctricos	40
Figura 32-1	Motor Eléctrico.....	41
Figura 33-1	Motoreductor DC	41
Figura 34-1	Contactor.....	42

Figura 35-1	Partes de un Contactor	43
Figura 36-1	Relé	44
Figura 37-1	Partes de un Relé	45
Figura 38-1	Pulsador	46
Figura 39-1	Lámparas De Señalización	46
Figura 40-1	Conductores	47
Figura 41-1	Fusible y Portafusibles	48
Figura 42-1	Interruptor Magnetotérmico.....	49
Figura 43-1	Circuito Inversor de VDF.....	50
Figura 44-1	Estructura Interna de un VDF.....	51
Figura 45-1	Símbolo y aspecto físico del SCR	54
Figura 46-1	Constitución interna y símbolo del DIAC	54
Figura 47-1	Constitución interna y símbolo del TRIAC	55
Figura 48-1	Interfaz del software ISIS.....	58
Figura 49-1	Interfaz del software Ares	58
Figura 1-2	Tablas para el cálculo del calibre de conductores eléctricos KOBREX.....	67
Figura 2-2	Circuito De Mando.....	71
Figura 3-2	Entradas y Salidas al PLC Xinje	72
Figura 4-2	Especificaciones y Conexión Entradas al PLC Xinje.....	72
Figura 5-2	Conexión de salidas por Relé.....	73
Figura 6-2	Ejemplo conexión salidas de Relé	73
Figura 7-2	Ejemplo conexión salida por Transistor	74
Figura 8-2	Circuito controlador de fase o DIMMER	74
Figura 9-2	Circuito regulador de voltaje con PWM	75
Figura 10-2	Expansión de la señal COM del PLC	76
Figura 11-2	Diseño del circuito en ARES del controlador de fase.....	76
Figura 12-2	Diseño del circuito impreso del controlador de fase.....	77
Figura 13-2	Vista 3D del controlador de fase	77
Figura 14-2	Vista 2D AUTOCAD frontal	78
Figura 15-2	Vista 2D AUTOCAD lateral.....	79
Figura 16-2	Vista 2D AUTOCAD lateral final	79
Figura 17-2	Vista 2D AUTOCAD frontal	80
Figura 18-2	Vista 2D de cajera ENDE AISI 304 para rodamientos 6002 2RS	81
Figura 19-2	Vista 2D soporte del enrollamiento.....	81
Figura 20-2	Colocación de canaletas y Riel DIN	85
Figura 21-2	Elementos de Protección y Control Colocados en el Tablero.....	85
Figura 22-2	Cableado de los dispositivos de control y protección	86

Figura 23-2	Colocación de los contactores.....	86
Figura 24-2	Pantalla TouchWin	87
Figura 25-2	Vista interior de la tapa del tablero.....	87
Figura 26-2	Vista interior tablero terminado.....	88
Figura 27-2	Vista exterior tablero terminado.....	88
Figura 28-2	Controlador de fase o DIMMER vista de la placa inferior y superior	89
Figura 29-2	Controlador de fase o DIMMER terminado.....	90
Figura 30-2	Pantalla inicial HMI.....	90
Figura 31-2	Pantalla de ingresos de parámetros de funcionamiento	90
Figura 32-2	Pantalla de Precalentamiento.....	91
Figura 33-2	Pantalla de ingreso de temperatura del cabezal	91
Figura 34-2	Pantalla de ingreso de temperatura del tornillo	91
Figura 35-2	Pantalla de menú principal.....	92
Figura 36-2	Estado de entradas Analógicas y Digitales.....	92
Figura 37-2	Gráfica de temperatura en el tiempo.....	92
Figura 38-2	Pantallas de actuadores	93
Figura 39-2	Pantalla de la opción "Acerca de"	93
Figura 40-2	Vista frontal de cabezal.....	94
Figura 41-2	Vista lateral.....	94
Figura 42-2	Vista lateral del dosificador.....	95
Figura 43-2	Vista Lateral	96
Figura 44-2	Vista Superior.....	96

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3	Comportamiento de niquelinas del tornillo sin automatizar	98
Gráfico 2-3	Comportamiento de las niquelinas del cabezal de salida sin automatizar..	99
Gráfico 3-3	Comportamiento de las niquelinas del cabezal automatizado	100
Gráfico 4-3	Comparación de consumo de electricidad	101
Gráfico 5-3	Comparación en la etapa de niquelinas de entrada del tornillo extrusor.	102
Gráfico 6-3	Comparación de resultados finales de temperatura	103
Gráfico 7-3	Comparación de consumo de electricidad	104

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

CPU	Unidad Central de Procesamiento
HMI	Interfaz Hombre Máquina
PET	Tereftalato de Polietileno
PLC	Control Lógico Programable
PC	Computador Portátil
SCADA	Supervisión, Control y Adquisición de Datos
mA	Miliamperios
NO	Normalmente Abierto
NC	Normalmente Cerrado
RMS	Raíz Media Cuadrática
PWM	Modulación por Ancho de Pulso
UART	Transmisor-Receptor Asíncrono Universal
SP	Soplador
TRIAC	Triodo para Corriente Alterna
MX	Mezclador
FR	Foco Rojo
BOM	Bomba de Agua
NI	Niquelinas
DIAC	Diodo para Corriente Alterna
Vca	Voltaje Corriente Alterna
Vcd	Voltaje Corriente Directa
KΩ	Kilo Ohmios
AC	Corriente Alterna
DC	Corriente Directa
GND	Tierra
Hz	Hercios
ms	Milisegundos
°C	Grados Centígrados
VRMS	Voltaje Eficaz
SFC	Gráfico Secuencial de Funciones
LD	Diagrama Ladder
FBD	Diagrama de Bloques de Funciones
IL	Lista de Instrucciones
ST	Texto Estructurado

ISIS	Sistema Inteligente De Entrada Esquemática
ARES	Software Avanzado De Enrutamiento Y Edición
GRAFCET	Gráfico Funcional de Comando Etapas y Transiciones
PTC	Coeficiente de Temperatura Positivo
NTC	Coeficiente de Temperatura Negativo
RTD	Detector Resistivo de Temperatura
I	Corriente
A	Amperios
s	Segundos
V	Voltaje

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1	Ecuación para calcular las RPM de un motor.....	51
Ecuación 1-2	Ecuación para corriente de protección para fusibles.....	63
Ecuación 2-2	Ecuación para calcular resistencia	65
Ecuación 3-2	Ecuación para calcular la potencia de consumo.....	65
Ecuación 4-2	Caída de tensión para un circuito monofásico	66
Ecuación 5-2	Caída de tensión para un circuito bifásico.....	66

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A Manual del PLC

Anexo B Manual del HMI

Anexo C Manual del Usuario

Anexo D Archivos de planos y diseños en AutoCAD y CAdESIMU

RESUMEN

Se automatizó la línea de producción para la elaboración de hilo plástico con Tereftalato de Polietileno (PET) reciclado en el laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Se diseñó e implementó el sistema eléctrico, electrónico, mecánico y de control en todo el proceso, luego se procedió a la verificación y corrección de errores del funcionamiento del equipo. El Controlador Lógico Programable (PLC) procesa el programa interno lógico que trabaja en base a la información receptada por sensores de temperatura PT100, para activar y desactivar las niquelinas de entrada y salida instaladas en el extrusor, con el fin de estabilizar la temperatura al valor deseado del proceso. Los sensores ópticos controlan la cantidad de materia prima mínimo y máximo para iniciar el proceso de extrusión. El movimiento de las paletas de la etapa de secado mantiene constante la caída de materia prima por gravedad hacia el ducto del dosificador. El soplador mantiene un correcto flujo de aire a través de la dosificación de la materia prima (PET) hacia el ingreso de la tolva de la etapa de extrusión. A través de una pantalla touch (HMI) se ingresa y monitorea los valores de temperatura de las niquelinas, variables fundamentales del proceso. Se comparó el estado de funcionamiento de la máquina antes de la automatización y se determinó un error de estabilización de temperatura de $\pm 17^{\circ}\text{C}$, después de la automatización se determinó un error de $\pm 5^{\circ}\text{C}$, reduciendo en un 70.6% el error de estabilización en la temperatura. La automatización implementada respondió satisfactoriamente, minimizando el tiempo invertido por parte del personal en el control de las diferentes etapas del proceso, garantizando la calidad del producto a través de un control óptimo de temperatura. Se recomienda a los estudiantes del laboratorio de Procesos Industriales revisar el manual de procedimientos previo al uso de la máquina.

PALABRAS CLAVE: <CONTROL AUTOMÁTICO> <AUTOMATIZACIÓN DE LA LINEA DE PRODUCCIÓN>, <CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)>, <NIQUELINAS> <SENSORES ÓPTICOS> <INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA (HMI)>, <SENSORES DE TEMPERATURA>, < MOTOR SOPLADOR>, <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>

ABSTRACT

The production line for processing plastic thread with polyethylene terephthalate (PET) recycled in the laboratory of industrial processes of the science faculty of the Polytechnic of Chimborazo was automated. The electrical, electronic, mechanical and control system was designed and implemented throughout the process, then a proceeded to the verification and correction of errors of operation. The programmable logic controller (PLC) processes the logical internal program that works based on the information receipted by external and internal temperature sensors PT100, to activate and deactivate nickelines, in order to stabilize the temperature to the desired value of the process. The optical sensors monitor the amount of minimum and maximum raw material to start the process of extrusion. The movement of the blades of the drying step remains constant raw materials fall by gravity into the duct of the dispenser. Blower maintains correct airflow through the dosing of the raw materials (PET) to the input hopper extrusion step. Through a touch screen (HMI) is entered and the values of internal and external temperature fundamentals of the process is monitored. Functioning status of the machine was compared before and an error automation temperatura stabilization $\pm 17^{\circ}\text{C}$, that of the automation of determined an error of $\pm 5^{\circ}\text{C}$ was determined, resulting on an efficiency temperatura stabilization of 70.6%. The implemented automation replied satisfactorily, minimizing the time spent by staff in controlling the different stages of the process ensuring product quality through optimum temperature control time. We recommend to students of industrial processes lab to check the manual of procedures prior to using the machine.

Keywords: < AUTOMATIC CONTROL >, < AUTOMATED OF CONTROL LINE >, < PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER >, < NICKELINES >, < OPTICAL SENSORS >, < HUMAN MACHINE INTERFACE >, < TEMPERATURE SENSORS >, < BLOWER >, < TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES >

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

En el ámbito empresarial e industrial, existe un gran desarrollo de los procesos de automatización, fortaleciéndose dentro y fuera del país, además se encuentran en un proceso constante de actualización y modernización, imponiéndose como base fundamental del desarrollo de las industrias.

Debido a exigencias de calidad cada vez mayores en los productos generados por los sistemas de producción actuales, los elementos que componen el sistema, tienen que disponer de una mayor precisión, versatilidad y fiabilidad.

Las tareas de automatización en máquinas y sistemas de producción manuales o dependientes de operarios, se traducen proporcionalmente a la implementación de sistemas y mecanismos automáticos, dicha tecnología de automatización se ve ligada a incluir componentes que requieren de entradas y salidas para su funcionamiento, lo cual en comparación a todas las obligaciones que tiene un contratista con un operario, evidencia claramente las ventajas como eficiencia y precisión que brinda un sistema automatizado, logrando así obtener procesos rápidos, precisos y tecnificados.

En la actualidad muchas industrias ecuatorianas impulsan al reciclaje doméstico, principalmente de recolección de botellas plásticas y flexibles, las cuales no tienen un tratamiento adecuado, llegando en su mayoría a los rellenos sanitarios y por consiguiente afectando al medio ambiente y degradando los suelos, flora y fauna.

Es por ello que este insumo de plástico actualmente desperdiciado, puede convertirse en múltiples materiales como hilo plástico, de utilidad en el sector industrial y doméstico.

El proceso de elaboración de hilo aún se desarrolla bajo la custodia total de un operario, el cual desperdicia tiempo en enfocarse en cada una de las etapas, en la actualidad lo que se busca es la modernización y tecnificación con el fin de mejorar la productividad, en consecuencia a esto se ha optado por automatizar las etapas de secado y extrusión de esta línea de producción de hilo plástico, ubicado en la facultad de ciencias de la ESPOCH.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Ayudará la automatización de la línea de producción a optimizar el tiempo en el proceso de elaboración de hilos plásticos además de garantizar la calidad del mismo?

¿Cómo influirá la automatización de la línea de producción para la elaboración de hilos plásticos en el laboratorio de procesos industriales en la ESPOCH?

¿Se podrá automatizar satisfactoriamente el proceso utilizando el PLC y varios sensores?

¿Se obtendrá un producto aceptable en base a los parámetros establecidos de elaboración de hilo plástico en el laboratorio de procesos industriales en la ESPOCH?

JUSTIFICACIÓN

Se implementó un sistema automatizado el cual permitió poner operativo el equipo además de reducir el recurso humano, durante el funcionamiento de la máquina.

El montaje de este sistema automático es una opción mucho más rentable y segura al momento de realizar un proceso de producción, debido a que los errores se ven considerablemente reducidos y casi eliminados.

Para la automatización del sistema se utilizó un PLC XINJE, el mismo que trabaja en base a la información recibida por los sensores y procesada por el programa lógico interno, comandando este sobre los actuadores.

Se realizó un óptimo control de la temperatura en la entrada y salida de extrusión usando dos PT100 los cuales nos dan a conocer el valor de la variable, además se usó dos sensores ópticos los cuales controlan la entrada de nivel mínimo y máximo de la materia prima (PET) hacia la tolva del proceso de extrusión.

Se diseñó e implementó un dosificador de flujo de aire el cual lleva la materia prima (PET) de la etapa de secado hacia la tolva de extrusión.

Se diseñó e implementó una boquilla (NARIZ) a la salida del proceso de extrusión el cual reduce la sección del filamento de acuerdo al requerimiento establecido o parámetros estandarizados que rigen el procesamiento de este tipo de polímero.

Se diseñó una interfaz HMI la misma que permite monitorear constantemente las variables de temperaturas, verificando así que la máquina, durante el proceso en las diferentes etapas de producción permanece en los parámetros adecuados.

Se implementó un nuevo sistema de alargado y enrollamiento de hilo el cual contribuyo al mejoramiento y manipulación del producto final (HILO).

OBJETIVOS

Objetivos Generales:

Automatizar una línea de producción para elaborar hilo plástico con material PET reciclado en el laboratorio de procesos industriales de la Facultad de Ciencias.

Objetivos Específicos:

- Analizar y establecer las características, parámetros de funcionamiento y operación de la línea de producción de hilo plástico.
- Diseñar e implementar el sistema eléctrico, electrónico, mecánico de acuerdo a los parámetros previamente establecidos.
- Determinar e implementar la tecnología necesaria para el sistema mecánico para la etapa de enrollamiento de hilo plástico.
- Programar el PLC y la HMI de acuerdo al proceso y variables de entrada y salida.
- Integrar los nuevos componentes a la máquina y remplazar los elementos antiguos.
- Realizar pruebas y corrección de errores para verificar las condiciones de funcionamiento de la máquina automatizada.

CAPITULO I

1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 HILO PLÁSTICO

1.1.1 *Introducción*



Figura 1.1 Hilo Plástico

Fuente: <http://k44.kn3.net/>

El filamento de hilo plástico es un tipo de polímero de alta densidad, este es el resultante del reciclaje de las botellas PET utilizadas especialmente en la producción de fibras de textiles y envases de gaseosas, sufriendo un cambio en sus propiedades químicas y físicas, permitiendo que se vuelva reutilizable como producto o materia prima inicial para un proceso industrial posterior de plastificación.

Actualmente en el siglo XXI, el reciclaje de los materiales derivados de los polímeros, se ha convertido en una acción indispensable para ayudar a preservar el medio ambiente. Gracias al

desarrollo y mejoramiento de la tecnología manufacturera para el tratamiento de residuos derivados del petróleo, se está logrando este objetivo global.

La fibra o el filamento de PET es un material netamente reciclado y reciclable convirtiéndose en un material que tiene propiedades y características químicas-físicas, razones por la cual este material alcanza un desarrollo relevante y a la vez es amigable con el medio ambiente.

En general se cree que la proyección en la utilización de plásticos reciclados se puede dar en torno a la sustitución de materiales como madera y concreto.

La desventaja con la madera se encuentra en las pobres propiedades mecánicas que ofrece el plástico, mientras que en el caso del concreto y materiales de construcción las desventajas se dan en torno al comportamiento del plástico a altas temperaturas y el peligro que esto puede generar en incendios u otro tipo de accidentes.

1.1.2 Definición

Químicamente el PET se define como:

El Tereftalato de Polietileno (PET), es un polímero plástico, lineal, con alto grado de cristalinidad y termoplástico en su comportamiento, lo cual lo hace apto para ser transformado mediante procesos de extrusión, inyección, inyección-soplado y termoformado. Es extremadamente duro, resistente al desgaste, dimensionalmente estable, resistente a los químicos y tiene buenas propiedades dieléctricas (WIKIPEDIA, 2012).

1.1.3 Características y propiedades del PET

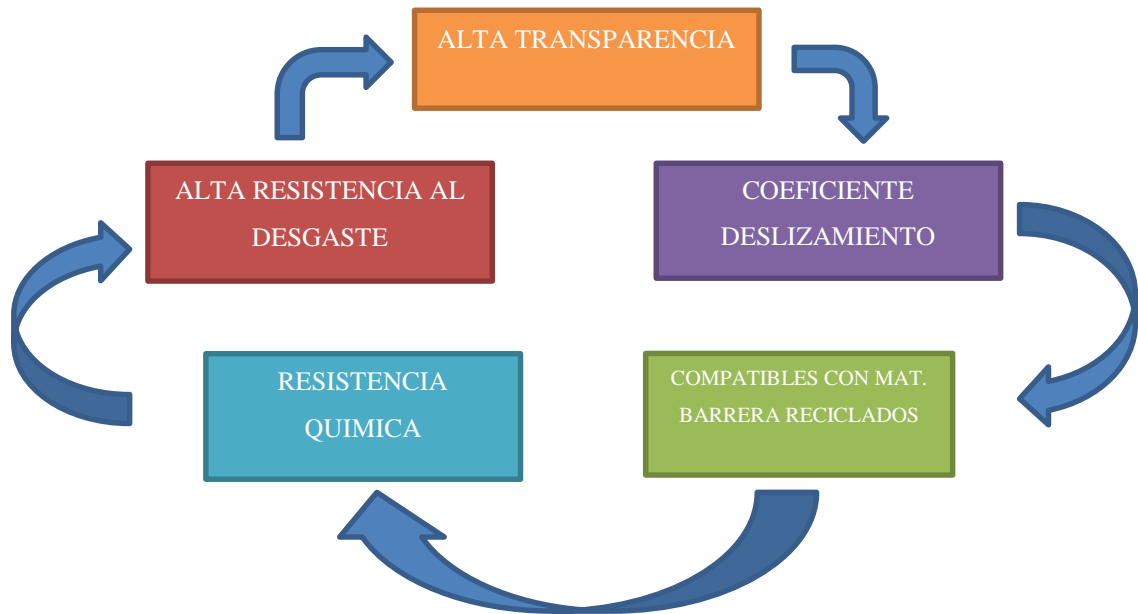


Figura 2-1 Características relevantes del PET

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

Las propiedades físicas, técnicas y comerciales del PET son varias de las razones por la cual este polímero se ha convertido en el aporte muy relevante en la producción de fibras textiles y en la producción de envases.

El PET es un material muy común en la industria del envase y es utilizado principalmente por su transparencia, este se compone también de varios grados, los cuales dependen de su peso molecular y cristalinidad, se puede encontrar amorfo, transparente o semicristalino. En la industria del envase se utiliza el amorfo. La densidad de este es de 1.33gr/cm y su resistencia al impacto no es muy buena. Su rango de temperaturas de uso va desde -40°C hasta 60°C y en ausencia de aire hasta los 100°C.

El PET se cristaliza por arriba de los 90°C y se utiliza principalmente en la fabricación de botellas, tarros y frascos para envasar bebidas, alimentos, cosméticos, farmacéuticos y varios.

1.1.4 Datos técnicos del PET

Valor límite de la viscosidad medido en ácido dicloroacético a 25°C	1.07
Punto de fusión °C	aprox. 252/260
Acetaldehído	ppm < 1
Contenido en grupos carboxílicos	mval/kg 20
Densidad aparente [g/cm³] aprox.	0.85

Figura 3-1 Datos Técnicos

Fuente: <http://www.textoscientificos.com/polimeros/pet>

Uno de los factores más importantes del polímero que se debe tener en cuenta es la baja viscosidad del fundido ya que es altamente sensible a la temperatura, por lo que debe estar controlada en el rango de 250 a 260 °C, evitando así el chorreo a la salida de la boquilla y específicamente que se queme el filamento.

1.1.5 *Proceso de elaboración de hilo plástico*

En la figura 1.2 se enumeran los procesos de elaboración de hilo plástico

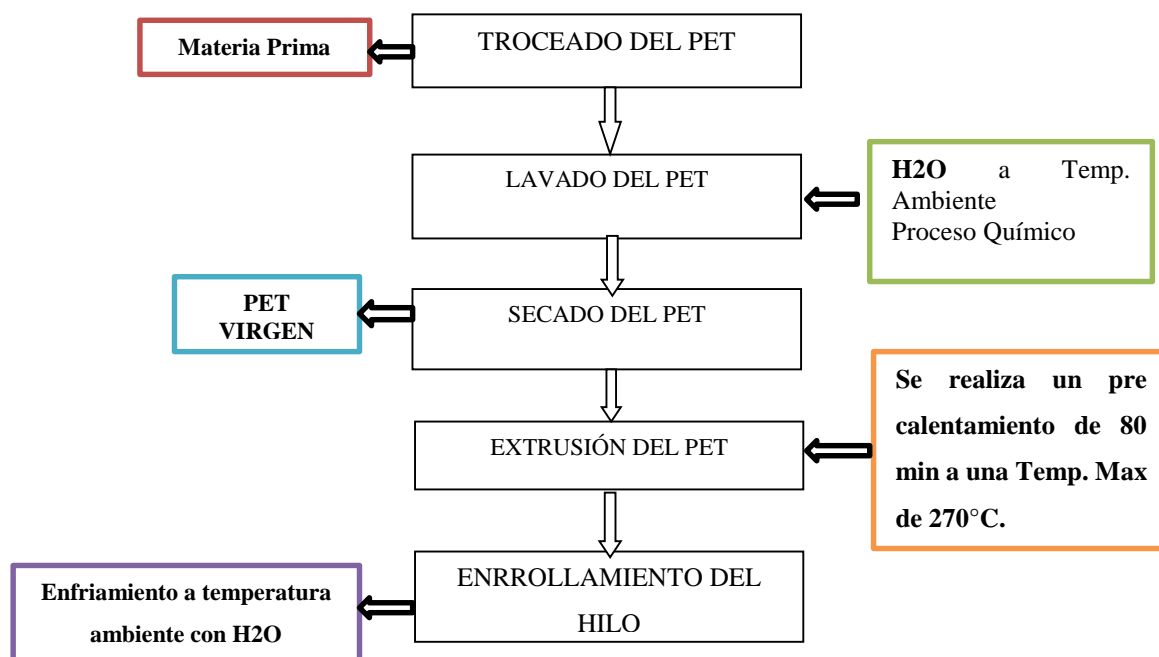


Figura4-1 Proceso de elaboración de hilo plástico

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

Troceado del PET: Se inserta una cantidad de botellas PET en el molino, previamente seleccionados es decir; sin pedazos duros, tapas y tipo de PET necesariamente compuestos de derivado de Petróleo, el cual se convertirán en trozos pequeños, que serán materia prima para todo el proceso necesario, para su mejor trato y manipulación. Se debe tener muy en cuenta el material ya troceado, deben tener un máximo de 1cm^2 aproximadamente para una mejor extrusión.

Lavado del PET: Consiste en ingresar toda la materia prima troceada en el tanque de lavado durante 30 a 40 minutos, donde se mezcla con agua (H_2O) y peróxido de sodio compuesto químico que ayuda a la eliminación de las impurezas de la materia prima como: melaza, colorante, etiquetas y pega que existe en las paredes de cada botella.

Secado del PET: Si la materia prima está libre de impurezas, se procede a colocar en un tanque de secado con aire caliente durante un tiempo de 60 minutos, el cual eliminará el agua y humedad de la materia prima, quedando totalmente seco denominándolo así como PET virgen. Este tipo de polímero se lo debe guardar en un ambiente que no exista humedad y sin otros plásticos, ya que este polímero puede humedecerse fácilmente en estado virgen.

Extrusión del PET virgen: Es el proceso mecánico industrial más importante en toda la línea de producción, que tiene como objetivo forzar al PET troceado y debidamente tratado, desde la tolva de alimentación, pasando por el tornillo de extrusión bajo la acción de parámetros como la presión, temperatura, empuje y fricción que es generada a través de un tornillo sin fin o husillo, el cual genera un flujo pastoso continuo y constante del filamento moldeado por el cabezal o nariz diseñados a su salida. El polímero es básicamente fundido dentro del cilindro precalentado previamente. El punto de fusión del PET se encuentra en un rango de temperatura de 245 a 260°C . La máquina de extrusión debe ser precalentada previamente.

Enrollamiento del hilo o filamento: Consiste en un proceso mecánico-electrónico de sincronización y regulación de velocidad de giro del motor del sistema de enrollado. Este filamento cae libremente desde la nariz hacia una piscina de enfriamiento llena de agua (H_2O), a temperatura ambiente de trabajo (25°C a 30°C), pasando también pasa por varios rodillos que ayudaran al alargamiento, direccionamiento y separación de cada filamento, llegando al tambor de enrollamiento y así teniendo el producto terminado en cada carrete.

1.1.6 Factores para el moldeo del plástico

1.1.6.1 Presión

Es una magnitud física, que genera una fuerza aplicada perpendicularmente sobre una superficie dada y el valor del área de la superficie. Su unidad de medida es el Pascal (Pa).

La presión en la etapa de extrusión, es generada en la parte final del husillo donde se encuentra también el cabezal o nariz cumpliendo una parte importante del diseño de la maquinaria y del proceso.

1.1.6.2 Fricción

La fuerza de fricción o la fuerza de rozamiento es la fuerza que existe entre dos superficies en contacto, que se opone al movimiento relativo entre ambas superficies (fuerza de fricción dinámica) o a la fuerza que se opone al inicio del deslizamiento (fuerza de fricción estática) (WIKIPEDIA, 2012).

1.1.6.3 Flujo de retroceso

El flujo de retroceso se origina por el gradiente de presión a lo largo del cilindro, este tiende a hacer fluir el material hacia atrás a lo largo del canal del tornillo.

1.1.6.4 Husillo

Un husillo de extrusión es un tornillo de Arquímedes, el cual está acoplado por un extremo al motor que lo hace girar a una velocidad angular determinada. Mediante el giro del husillo, forzando a la materia prima (PET troceado) avanzar por el cilindro extrusor, que está básicamente precalentado a la temperatura de fusión del material.

1.1.7 Extrusión

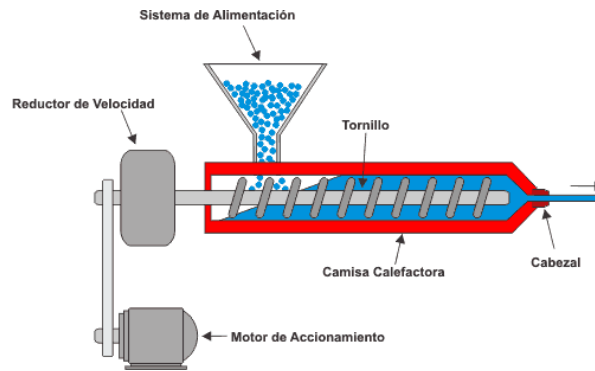


Figura.5-1 Extrusión

Fuente: <http://conceptodefinicion.de/>

Es la etapa más importante del proceso de elaboración de Hilo Plástico.

1.1.7.1 Funciones Principales

- Transporte del material sólido hacia la zona de fusión.
- Fusión o plastificación del material.
- Transporte y presurización del fundido.
- Mezclado.

1.1.7.2 Técnicas de extrusión

Existen diferentes técnicas de extrusión dependiendo del tipo de uso que se crea conveniente, se puede encontrar varios tipos de diseños del cabezal.

Extrusión con un solo husillo

- Extrusores convencionales
- Extrusores con ventilación
- Extrusores con mezcladores

Extrusión sin husillo

- Bombas
- Extrusores de discos

Extrusión con husillo múltiple

- Extrusores de doble husillo
- Husillos que no engranan
- Husillos con más de dos husillos
- Husillos que engranan

1.1.7.3 Extrusión con un solo husillo.

El polímero se alimenta en forma de gránulos, escamas o polvo. El material se calienta a medida que avanza a lo largo del tornillo y se transforma en un fluido muy viscoso hacia la parte media del tornillo.

El movimiento del tornillo genera sobre el fluido la presión necesaria para hacerle salir por la boquilla, en donde toma la forma deseada. Al salir de la boquilla el PET plastificado es enfriado, enrollado y almacenado.

Este tipo de extrusora es la más común en la industria de un solo husillo como podemos ver en la figura 1.6. Teniendo cuatro etapas fundamentales en el proceso.



Figura 6-1 Extrusora de un husillo

Fuente: <http://www.jzxdcjsj.com/UploadFile/>

1.1.7.3.1 Tolla o Zona de alimentación

Es un depósito donde se acumula la materia prima o granulados sólidos de PET para el transporte hacia el husillo.

1.1.7.3.2 Zona de compresión o plastificación

En cierto punto de ésta zona, los gránulos sólidos del polímero tocan la superficie caliente del cilindro, funden y forman una capa de polímero fundido sobre la superficie del cilindro. Durante ésta etapa del proceso la transferencia de calor es lenta, ya que la masa sólida porosa situada debajo de la capa fundida, ofrece un pobre paso para el flujo de calor.

1.1.7.3.3 Zona de dosificación o distribución

El material fundido se homogeniza a través del husillo el cual ejerce presión en el material y empuje al cabezal para garantizar que el material salga de la extrusora. En esta zona juega una parte importante el control de temperatura de todo el cilindro mediante resistencias eléctricas.

1.1.7.3.4 Zona del cabezal o boquilla

La zona final del extrusor, el cual es responsable de proporcionar el diámetro y números de filamentos de la extrusión. El diseño del cabezal debe lograr que el filamento de PET fluya, a través de uno o varios orificios y se adapte a la forma de este.

1.2 Automatización Industrial

1.2.1 Introducción



Figura 7-1 Automatización Industrial

Fuente: <http://www.isgcontrol.com/wp-content/>

En un principio, el personal de la industria era el responsable de manejar y ejecutar la producción que les era encomendada exponiéndose a peligros de la industria, realizando las tareas según la forma que ellos creían correcta. Las propuestas de los operarios y personal responsable de las maquinarias, optimizaron y dieron uniformidad a los procesos productivos, instaurando el concepto de la especialización de tareas en base al desarrollo tecnológico. De esta manera, se dividió un proceso en pequeñas etapas de trabajo, logrando que los operarios adquirieran más destreza y ganen más tiempo diariamente, sin realizar una función limitada e iterativa.

La producción a gran escala involucra tareas repetitivas o que se debe manipular constantemente, es decir donde se debe mantener un conjunto de magnitudes (por ejemplo la presión, temperatura, velocidad, torque, potencia, etc.) dentro de márgenes preestablecidos. La aplicación de los dispositivos electromecánicos y electrónicos en el área industrial permitió automatizar las tareas repetitivas, aumentando así los niveles de producción, y logrando controlar las magnitudes físicas en forma más precisa. Automatizar y controlar, son las principales funciones que desempeñan los sistemas de control.

1.2.2 Definición

La automatización industrial es la tecnología o facultad para implementar procesos industriales de forma autónoma disminuyendo la participación física del operario. Este trata de involucrar e incorporar sistemas mecánicos, electrónicos y controladores lógicos programables de mando como PLCs para operar y controlar la maquinaria o procesos determinados, con el fin de mejorar tiempos, reducir costos y garantizar una mejor calidad del producto terminado.

Según Ford Motor Company define Automatización como el arte de aplicar dispositivos mecánicos para manipular piezas de trabajo dentro y fuera de los equipos, para manejar piezas entres dos operaciones, para eliminar chatarra y para realizar estas tareas de forma sincronizada con el equipo de producción de tal forma que la cadena de producción pueda ser controlada total o parcial mediante tablas de comandos de control localizados en puntos estratégicos de la fibra (USON, 2010).

1.2.3 *Objetivos de la automatización*

Medina y Guadayol encontraron que los objetivos de la automatización son los siguientes (MEDINA & GUADAYOL, 2010):

- Mejorar la productividad de la empresa, reduciendo los costes de la producción y mejorando la calidad de la misma.
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos penosos e incrementando la seguridad.
- Realizar las operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente.
- Mejorar la disponibilidad de los productos, pudiendo proveer las cantidades necesarias en el momento preciso.
- Simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.
- Integrar la gestión y producción.
- Mejoramiento de la calidad del producto.
- Reducir el tiempo de manufactura.

1.2.4 *Elementos básicos de un sistema de automatización*

- Fuente de energía
- Interfaz del usuario
- Dispositivos de mando y control
- Elementos sensoriales
- Elementos de potencia

Fuente de Energía.- Las operaciones y movimientos de los sistemas automáticos suponen un gasto energético que ha de ser aportado por un medio externo. Suele denominarse fuente de potencia a aquella que suministra energía a los órganos de trabajo que actúan sobre el proceso.

Interfaz de Usuario.- Es el medio visual y manipulable por el cual el usuario puede comunicarse con una máquina, un equipo o una computadora, y comprende todos los puntos de contacto entre el usuario y el equipo.

Dispositivos de Mando/Control.- Representa el sistema, el cual decide cuando realizar las acciones, que acciones realizar, y en su caso, depende de los valores que han de tener algunos de los parámetros que definen una acción o tarea.

Elementos Sensoriales.- Son dispositivos electrónicos y mecánicos que tienen la función de captar o medir determinados valores o magnitudes durante la realización de un proceso. Estos elementos proporcionan información a los dispositivos de mando para que estos puedan actuar consecuentemente.

Elementos de Potencia.- Son dispositivos electromecánicos que tienen como objetivo permitir o impedir el paso de corriente generalmente consumida por máquinas de grandes potencias. El dispositivo básico de un elemento de potencia es un contacto o contactor.

1.3 SISTEMA DE CONTROL

Es un conjunto funcional de dispositivos mecánicos, eléctricos y/o electrónicos que interactúan de manera conjunta en uno u otro sistema, de manera que se logre el resultado deseado en base a los parámetros establecidos y reducción de errores. Un sistema de control en general tiene variables de entrada (externas) y variables de salida (internas) manipulables.

La Figura 1.8 ilustra la representación de un sistema.

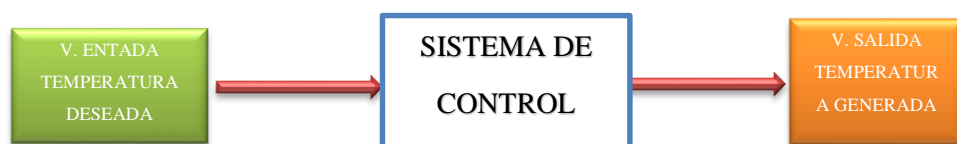


Figura 8-1 Representación de un Sistema

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

1.3.1 *Características principales de un sistema de control*

- Garantizar la estabilidad.
- Ser robusto frente a perturbaciones y errores de modelos.
- Ser eficiente y evitar comportamientos irreales.
- Ser fácilmente implementarle y operable en tiempo real.

1.3.2 *Tipos de sistema de control*

Existen dos tipos más comunes de sistemas de control:

- Sistema de control de lazo abierto
- Sistema de control de lazo cerrado

En los sistemas de control de lazo abierto la salida se genera dependiendo de la entrada; mientras que en los sistemas de lazo cerrado la salida depende de las consideraciones y correcciones realizadas por la retroalimentación (El sensor) (WIKIPEDIA, 2011).

1.3.3 *Tipos de control automático*

Los controles más utilizados en los procesos industriales en general se encuentran los siguientes:

1.3.3.1 *Control On-Off*

También conocido como control prueba y error. Este tipo de control es muy común encontrarnos en muchos procesos, este presenta dos valores fijos en su salida, encendido y apagado, dependiendo de la señal de error es positiva o negativa. Al iniciar el sistema el error es positivo y el control es activado hasta llegar al valor de deseado, en ese momento el signo de error cambia a negativo y el controlador se apaga como se ilustra en la figura 9-1

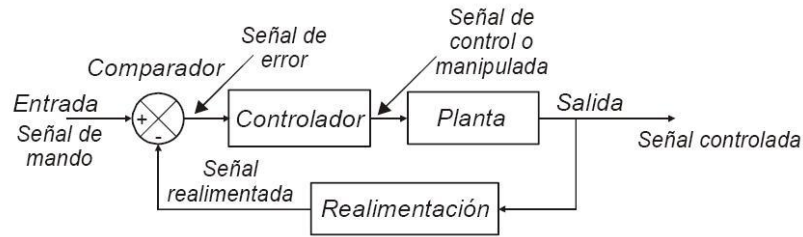


Figura.9-1 Sistema con control ON-OFF

Fuente: <http://1.bp.blogspot.com/>

Este controlador es de gran uso por tres razones relevantes:

- Su implementación es muy sencilla.
- Normalmente se los utiliza en aplicaciones domesticas o en procesos industriales.
- No se requiere una elevada precisión debido a que el controlador no posee la capacidad necesaria para generar un valor exacto de la variable controlada.

1.3.4 Control proporcional

La señal de salida (salida del actuador) del controlador sea proporcional a la señal del error (valor deseado – valor medido). En otras palabras la salida del controlador está dada por la multiplicación entre la ganancia proporcional K_p y la señal de error (figura 10-1).

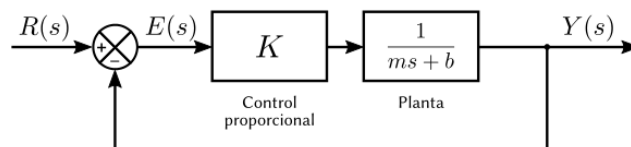


Figura.10-1 Sistema con Control Proporcional

Fuente: <http://pybonacci.org/>

Este tipo de control es simple y fácil de implementar; pero aunque corrige el error del sistema no lo elimina por completo.

1.3.4.1 Control Proporcional Integral

Como se muestra en la figura 11-1, este controlador asocia dos tipos de acciones, la proporcional que actúa instantáneamente y la integral que actúa solo en un intervalo de tiempo. El control trabaja considerando la dimensión del error y el tiempo que este ha persistido.

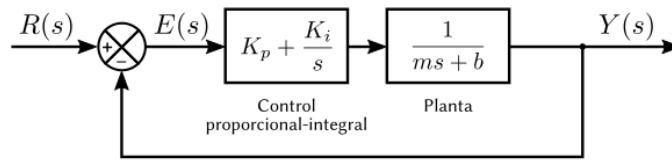


Figura 11-1 Sistema con Control PI

Fuente: <http://pybonacci.org/>

Con este control logramos corregir rápidamente el error y eliminarlo en su totalidad, pero incrementa el sobre impulso y el tiempo de estabilización.

1.3.4.2 Control proporcional Derivativo

Este tipo de control proporcional tiene la capacidad de tomar en cuenta la velocidad del cambio del error con respecto al tiempo, este se anticipa a la acción proporcional para lograr que el sistema se establezca más rápido después de la presencia de una perturbación.



Figura 12-1 Sistema con Control PD

Fuente: <http://pybonacci.org/>

Al utilizar el control descrito en la figura 12-1 se disminuye el tiempo de estabilización y el sobre impulso, aumenta la velocidad de respuesta que tiene el sistema de control, pero tiene la desventaja de amplificar las señales de ruido.

1.3.4.3 Control PID

El controlador o regulador PID tiene tres elementos que proporcionan una acción Proporcional, Integral y Derivativo, actuando rápidamente ante las perturbaciones que presente el sistema, es decir, a base de la señal de error el sistema tendrá una respuesta rápida y una compensación inmediata.

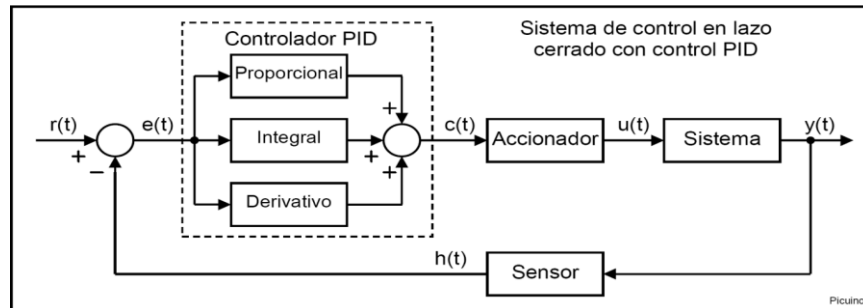


Figura 13-1 Sistema con Control PID

Fuente: <http://www.picuino.com/>

1.4 PLC (Controlador Lógico Programable)

1.4.1 Definición de PLC

El controlador lógico programable (PLC), es un dispositivo electrónico operado digitalmente utilizados por muchas industrias y máquinas, diseñado para ser programado en un lenguaje llamado Ladder y controlar procesos secuenciales en tiempo real. En la actualidad existen tres tipos diferentes de programación: lógica escalera, lógica de estados y programación tradicional, posee un hardware y su software.

Los Controladores Lógicos Programables se inventaron por primera vez a la necesidad que presento la industria automotriz, los cuales fueron utilizados para la sustitución de la lógica cableada. El primer PLC fue el MODICON 084.



Figura 14-1 Controladores Lógicos Programables

Fuente: <http://i802.photobucket.com/>

Un controlador lógico programable es un equipo operado en forma digital el cual usa memorias para almacenar internamente las instrucciones, dirigido hacia la implementación de funciones específicas, las cuales pueden ser: operaciones con registros, operaciones lógicas, operaciones dirigidas para el control de tiempos, conteo, las cuales permiten el control de entradas y salidas digitales y analógicas.

1.4.2 Componentes de un PLC

Un controlador lógico programable, posee una de las siguientes componentes:

- Estructura externa
- Estructura interna

1.4.2.1 Estructura Externa

- Compacta
- Modular



Figura 15-1 Estructura externa del PLC

Fuente: <http://www.industriaynegocios.cl/>

Compacta es cuando un PLC contiene todos sus elementos juntos o en un solo bloque.
Modular separa cada una de sus partes o módulos del PLC.

1.4.2.2 Estructura interna

- Unidad de Procesamiento Central o CPU
- Memoria
- Procesador de Comunicaciones
- Fuente de alimentación
- Dispositivos periféricos
- Tarjetas Modulares Inteligentes

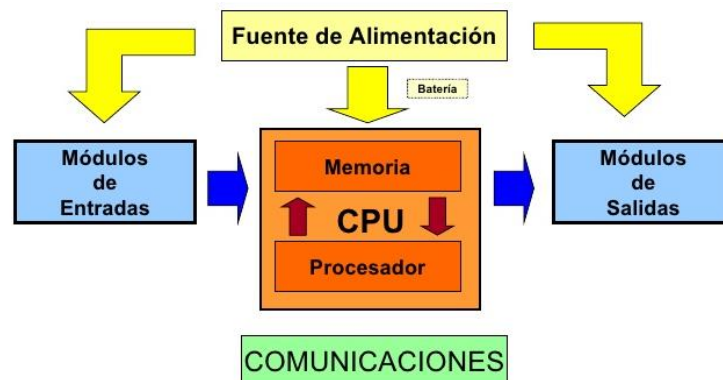


Figura 16-1 Componentes Internos del PLC

Fuente: <http://image.slidesharecdn.com/>

La unidad de procesamiento central o cerebro del controlador lógico programable (PLC). Este permite lecturas de entrada, la activación de las salidas, ejecución de decisiones lógicas que son programadas previamente y almacenado en la memoria, además el CPU posee procesador, memoria, y circuitos auxiliares realizando tareas de control interno y externo.

Los módulos de entradas y salidas son la interfaz del PLC en donde se conectan los sensores y actuadores con señales de ON/OFF y a través de los cuales se monitorea y controla el proceso.

La fuente de alimentación es muy importante porque suministra y convierte altos voltajes de corriente de línea (115V-230Vca) a bajos voltajes (5V, 15V, 24Vcd) requeridos por el CPU y los módulos de entradas y salidas.

1.4.3 *Ventajas de un PLC*

- Confiabilidad
- Flexibilidad
- Funciones avanzadas en la programación
- Comunicación
- Velocidad
- Mayor eficiencia
- Tableros menos robustos
- Menor costo
- Productos de mejor calidad

1.4.4 *Elección del PLC*

Se debe tener en cuenta varios parámetros para seleccionar el PLC más adecuado para el proceso ya que este se encargara de leer y enviar señales durante todo el sistema, debemos conocer los requisitos y exigencias del proceso, tomando en cuenta los siguientes aspectos (BORJA VEGA & HARO ROMO, 2013):

- Número de entradas y salidas a utilizar.
- Cantidad de memoria (Extensión del programa).
- Proceso de producción periódicamente cambiante.

- Necesidad de interfaces especiales.
- Tipos de entradas y salidas (Digitales, analógicas).
- Grado de protección IP.
- Costo del equipo.
- Compatibilidad con equipos de otras gamas.
- Asesoría y existencia del producto en el mercado local.

1.4.5 *PLC Xinje*

El controlador lógico programable utilizado en el trabajo de titulación fue de la marca Xinje, PLC de la serie XC modelo XC3-24 RT-E de 24 I/O con una software de programación gratis, su programación en lenguaje Ladder Logic y con lista de instrucciones, plataforma de programación muy amigable y compatible con MAC y WINDOWS, el cual puede ser empleado en varias aplicaciones como bandas transportadoras, tableros de control, sellados de fundas de plástico, control de servomotores y motores de pasos, siendo así de gran utilidad en la industria.



Figura 17-1 PLC Xinje XC3-24 RT-E

Fuente: <http://www.xinje-support-centre-listo.com/>

El PLC Xinje series XC3 son los más avanzados con entradas rápidas, contador de pulsos, frecuencímetro, entradas y salidas analógicas, reloj interno en tiempo real, calendario, memorias FLASH, salida de pulsos de alta frecuencia, para hacer control de posicionamiento (Motion Control), seguidor, PWM, control de temperatura para PT100, RTD, Termocuplas, celdas de carga, módulo Ethernet, puertos de comunicaciones RS232, además de funciones similares al código G para interpolación lineal y circular (G01, G02, G03) de varios ejes de movimiento los mismos que son para Servomotores o Motores de pasos.

Las características del PLC Xinje XC3-24 RT-E son:

- Integrado con Control Lógico, Entrada Y Salida Analógica En Una Sola Unidad.
- 14 Entradas Digitales opto-aisladas (Entradas NPN para sensores).
- 10 Salidas (2 digitales NPN de transistor y 8 de relé).
- 3 entradas de alta frecuencia para encoder incremental A/B.
- Fuente de voltaje de 24 DC con máximo 400mA.
- Reloj en tiempo real.
- Soporta contadores de alta velocidad (HIGH SPEED COUNT).
- Salidas de transistor de alta frecuencia (200 kHz) para servomotores o motores de paso.
- Lazos de control de PID.

1.4.5.1 Componentes Generales del PLC

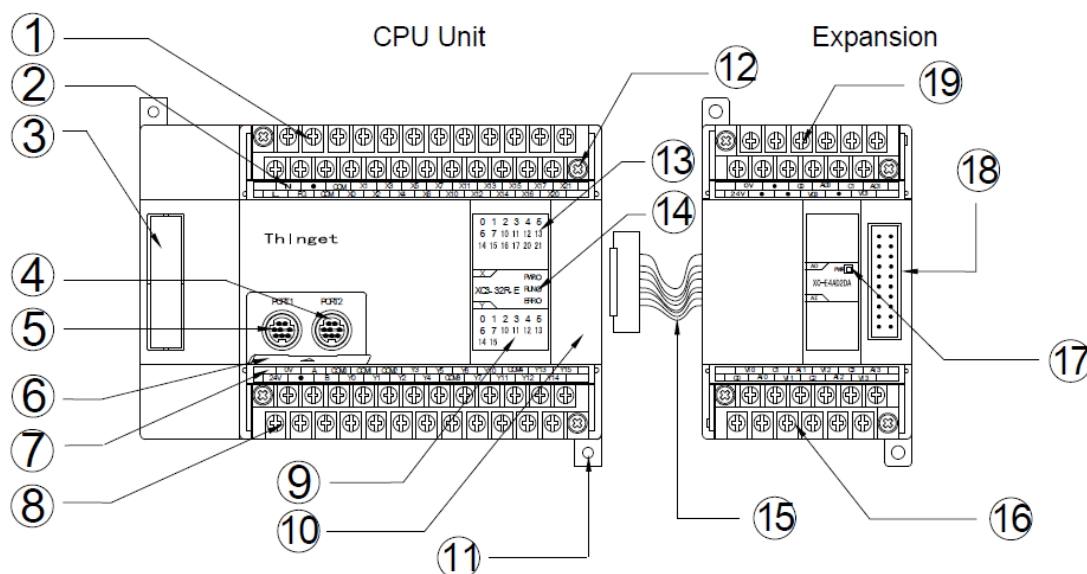


Figura 18-1 PLC Xinje Partes

Fuente: <http://www.xinje-support-centre-listo.com/>

1. Terminales de entrada y energía
2. Etiqueta del terminal de entrada
3. Puerto de instalación de tarjeta BD
4. COM2
5. COM1
6. Placa de cubierta para el puerto COM
7. Etiqueta de terminal de salida

8. Terminales de potencia de salida de 24 V DC
9. Salida de Led
10. Puerto para conectar con la expansión
11. Orificios de instalación
12. Tornillos para instalar/quitar los terminales
13. Entrada de Led
14. Salida de Led
15. Cable de expansión
16. Terminales de salida
17. Acción de Led
18. Puerto para conectar con la expansión
19. Los terminales de entrada y salida

1.4.5.2 *Especificaciones Generales*

Las características de funcionamiento del PLC Xinje XC3-24 RT-E se describen en la tabla 1-1, además de las especificaciones de funcionamiento (tabla 2-1).

1.4.5.2.1 *Especificaciones Eléctricas*

Tabla 1-1 Especificaciones Eléctricas del PLC

Voltaje De Entrada	100V ~ 240V AC
Rango De Tensión	AC90V ~ 265V
Frecuencia Nominal	50 / 60Hz
Consumo De Energía	Menos de 12 W (TYP2.0W)
Apagado Instantáneo	Menos de 20 ms
Alimentación Para Sensor	24 VCC \pm 10%, 400mA máx.
Resistencia Voltaje	AC1000V-10MA 1 minuto (entre la señal y tierra)
Resistencia Al Aislamiento	DC500V- 2M (entre la señal y tierra)

Fuente: <http://www.xinje-support-centre-listo.com/>

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

1.4.5.2.2 Especificaciones de funciones

Tabla 2-1 Especificaciones de funciones PLC

	Entrada analógica AI	Salida analógica AO	
Ítem	Entrada de tensión	Salida de tensión	Salida de Corriente
Rango de entrada analógica	0-10 V		
Rango de entrada Max	DC ± 18V		
Salida analógica		DC0-10V resistencia de carga externa 2KΩ-1MΩ	DC 4-20mA resistencia de carga externa menor a 500 Ω
Rango de entrada digital		8bits (0-256)	
Salida digital	12 bits (0-4095)		
Resolver capability	1/4095 (12Bit); Datos convertidos son almacenado con forma hexagonal en PLC (12Bit)	1/256 (8Bit); Datos convertidos son almacenado con forma hexagonal en PLC (8Bit)	
Integrado precisión	0,8%		
Convertir la velocidad	15ms / 1 canal	2 ms / 1 canal	
Alimentación analógica	DC24V ± 10%, 100mA		

Fuente: <http://www.xinje.pl/>

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

1.5 LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN DE PLC's

1.5.1 Programación

Un programa es un conjunto de instrucciones, órdenes y símbolos que pueden ser registrados por el controlador lógico programable (PLC), con la ayuda de su entidad de programación, los cuales permiten que se ejecute el proceso de control deseado. El Lenguaje de Programación ejecuta, a través del controlador, tareas de automatización y control que proporcionan al usuario la facultad de incorporar en la memoria del controlador lógico programable un programa de control.

En la actualidad se han desarrollado varios lenguajes de programación como tipos de PLC's en el mercado actualmente, los cuales por la utilización de nuevas tecnologías como módulos de entrada y salida han obligado a desarrollar nuevas instrucciones o cambiar las instrucciones ya conocidas.

Hay tres tipos de lenguajes de programación que sobresalen en la actualidad, los cuales son:

- Lenguaje de contactos o Ladder
- Lenguaje Booleano
- Diagrama de funciones


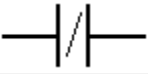



1.5.2 Lenguaje de contactos o Ladder.

Llamado también lenguaje de escalera, es un lenguaje de programación más popular y gráfico fundamentado en esquemas eléctricos. Logrando, usar estos conocimientos adaptándolos al método de programación en lenguaje. La norma NEMA6 regula el uso de símbolos utilizados por los fabricantes.

1.5.2.1 Elementos de programación

El lenguaje Ladder consta de reglas de circuitos de conmutación y es necesario conocer cada uno de sus elementos, En la tabla 3-1 los símbolos de los elementos básicos y descripción.

Tabla 3-1 Símbolos de los elementos básicos del Lenguaje Ladder

Símbolo	Nombre	Descripción
	Contacto NA	Se activa cuando hay un uno lógico en el elemento que representa, esto es, una entrada (para captar información del proceso a controlar), una variable interna o un bit de sistema.
	Contacto NC	Su función es similar al contacto NA anterior, pero en este caso se activa cuando hay un cero lógico, cosa que deberá de tenerse muy en cuenta a la hora de su utilización.
	Bobina NA	Se activa cuando la combinación que hay a su entrada (izquierda) da un uno lógico. Su activación equivale a decir que tiene un uno lógico. Suele representar elementos de salida, aunque a veces puede hacer el papel de variable interna.
	Bobina NC	Se activa cuando la combinación que hay a su entrada (izquierda) da un cero lógico. Su activación equivale a decir que tiene un cero lógico. Su comportamiento es complementario al de la bobina NA.
	Bobina SET	Una vez activa (puesta a 1) no se puede desactivar (puesta a 0) si no es por su correspondiente bobina en RESET. Sirve para memorizar bits y usada junto con la bina RESET dan una enorme potencia en la programación.

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/>

1.5.3 Lenguaje Booleano (lista de instrucciones).

Este lenguaje se basa en la sintaxis del Álgebra de Boole. Usa operadores Booleanos (AND, OR, NOT, etc.) y otras instrucciones nemónicas, para poder realizar el sistema de control.

Ejemplo de programación Booleana (figura 19-1):

A	I	2.3
A	I	4.1
O	I	3.2
=	Q	1.6

Figura 19-1 Lenguaje Booleano

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/>

1.5.4 Diagrama de funciones.

Es un lenguaje gráfico que utiliza bloques de funciones en el PLC, interconectados en forma similar que un circuito eléctrico. Los bloques de funciones son representados por símbolos, las salidas son representadas al final del bloque por variables evitando así el uso de bobinas tal como se describe un ejemplo en la figura 20-1.

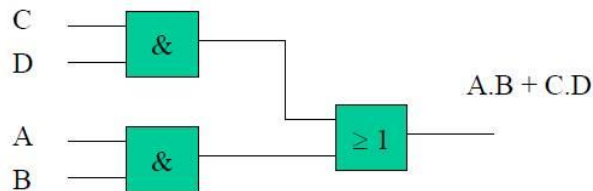


Figura 20-1 Diagrama de Funciones

Fuente: <http://datateca.unad.edu.co/>

1.5.5 Gráfico Secuencial de Funciones (SFC)

El lenguaje SFC se origina en el estándar francés GRAFCET. El GRAFCET tiene un funcionamiento similar al de SFC utilizando etapas, transiciones y acciones, está basado gráficamente en una representación de diagramas de secuencias similar a un diagrama de flujo, permite la representación de subprogramas o subrutinas las cuales pueden ser programadas LD, FBD, IL y/o ST, las cuales en conjunto forman el programa de control; SFC se utiliza en las secuencias de control en las que el programa fluye si la condición es verdadera o falsa. El Grapcet es la forma de programar el más alto nivel de programación del controlador lógico programable PLC.

Grapcet está formado varios elementos principales:

- Etapa Inicial
- Etapa Normal
- Acciones
- Transiciones (condiciones)
- Receptividades asociadas
- Líneas de enlace

El esquema hace que se active cada una de las etapas y la anterior se desactive, de acuerdo al cumplimiento de las condiciones.

Por ejemplo: la etapa 1 se activará después de iniciado el programa, al cumplirse la "Condición 1", se activa la etapa 2, se desactiva la 1, permitiendo que la "Acción 1" se realice, tal como se describe en la figura 21-1

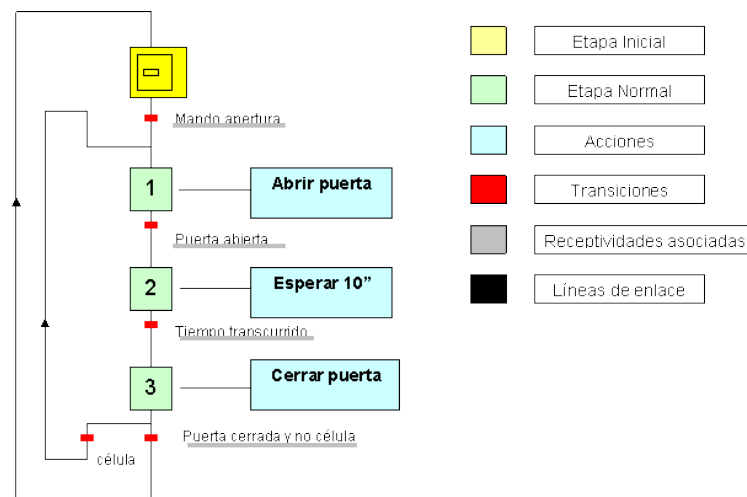


Figura 21-1: Gráfica de control de etapas de transición

Fuente: <http://www.industriaynegocios.cl/>

1.6 Sistema HMI (Human Machine Interface)

Se lo define como un instrumento, a través del cual el operador es capaz de interactuar con la maquinaria. Los paneles HMI consistían en paneles los cuales se forman por luces e indicadores digitales y análogos, pulsadores, etc. Hoy en día gracias a la avance de la tecnología, existen una variedad infinita de modelos de HMI que son compatibles con diferentes PLC los cuales ayudan a la disponibilidad de puertas de comunicación, es así donde se utiliza HMI más poderosos con conexiones sencillas y económicas.



Figura 21-1 HMI

Fuente: <http://www.procon.co.in/>

1.6.1 Funciones de un HMI

- **Controlar:** Ayuda al control de la máquina con el ingreso de parámetros variable o valores los cuales actúan en el proceso, con esto se realiza el control de la planta además del monitoreo.
- **Monitorear:** Es la obtención y muestra de datos de toda la planta en tiempo real, los datos pueden ser gráficos, texto plano, numéricos los cuales deben ser entendibles para el usuario.
- **Visualizar:** En unión al monitoreo permite adaptar las condiciones de trabajo mediante la interfaz.
- **Alarmas:** Permite emitir señales al realizarse eventos programados.

1.6.2 Panel Touch WIN



Figura 1.22 Pantalla HMI TOUCH WIN

Fuente: <http://www.newtech.pk/>

1.6.2.1 Características

- 3.7 in Monocromática LCD
- Fuente de alimentación DC24V,
- 2000 h de vida aprox. Temperatura de 25°C
- Color azul LCD
- 20 botones
- puede comunicar con la mayoría de la marca de modelos del PLC,
- Un puerto de comunicación RS232

1.6.2.2 Especificaciones generales

La tabla 4-1 muestra las características eléctricas, ambientales y tipo de pantalla.

Tabla 4-1 Pantalla WIN TOUCH OP230 AS

Artículo		Descripción
Eléctrico	Voltaje de entrada	DC20-DC28V
	Corriente del consumo	200mA
	Del poder permiso momentáneo apagado	Menos que 20ms
	Voltaje de Withstand	AC1000V-10mA 1 minuto (señal y tiempo)
	Impedancia aislada	DC500V- sobre 10MΩ (señal y tiempo)
Ambiente	Temperatura del ambiente	20-85% (ninguna condensación)
	Temperatura de la operación	0-50°C
	Temperatura de la reserva	-20-60°C
	Oscilación del Withstand	10-25Hz (2G por 30 min en dirección X, Y, Z)
	Anti-atasco	Ruido del voltaje: 1000Vp-p, pulso 1us, 1 minuto
	Aire circundante	Ningún gas corrosivo
	Construcción de la protección	IP65
Especificación de la pantalla	Utilice la vida	Más de 20000 horas, 24 horas que corren cuando la

		temperatura circundante es el °C 25
	Tipo	LED
	Tamaño de pantalla	3.7 pulgadas
	Numero de botones	20
	Contraste	Ajustable
	Color de display	Monocromático
	Puerto de Comunicación	RS232/RS422
Construcción	Dimensión de montaje	144.0*94.0m m
	Dimensión exterior	172*94*30m m

Fuente: <http://www.xinje-support-centre-listo.com/>

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

1.6.2.3 Forma Estructural

Las dimensiones de la pantalla WIN TOUCH OP230 AS son descritas en la figura 1.23.

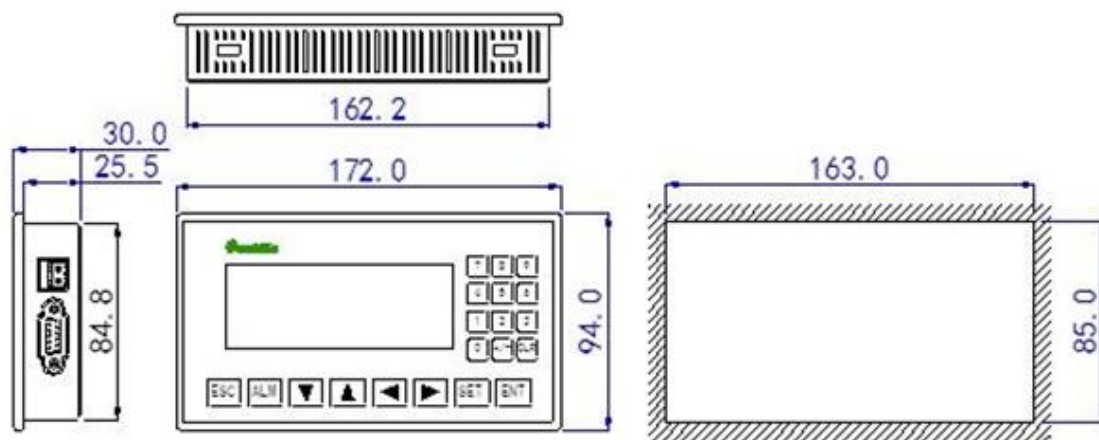


Figura 23-1 Dimensiones Pantalla TOUCH WIN OP320-AS

Fuente: <http://i34.photobucket.com/>

1.6.3 Protocolo de Comunicación RS-232

La comunicación rs232 se ayuda de un conector tipo DB-25 (de 25 pines), aunque el más usado es el de 9 pines (DE-9, o mal llamados DB-9). La interfaz RS-232 se diseñó para velocidades bajas de comunicación, se puede usar en comunicación simplex, half duplex o full dúplex.

El puerto serial DB25-RS232, fue creado para comunicar la computadora con su modem para línea telefónica manejando velocidades de comunicación bajas. Este tipo de comunicación se utiliza para la adquisición o envío de datos al ser conectado con un dispositivo remoto.

1.7 SENSORES

1.7.1 Definición

Son dispositivos eléctricos/mecánicos que interactúa con el medio, capaz de leer y proporcionarnos información de magnitudes físicas a valores medibles que nos rodean tales como temperatura, humedad, sonido, posición, caudal, luz, nivel entre otros y convertirlas en señales de tipo eléctricas, generalmente voltaje o corriente de bajo valor fácilmente, cuantificables y manipulables, para someterlas a ciertos procesos, y crear órdenes y/ o poner en marcha un mecanismo, como por ejemplo: a las entradas de un PLC.

1.7.2 Sensor de temperatura



Figura 24-1 Sensores De Temperatura

Fuente: <https://10.cdnwm.com/>

Un sensor de temperatura es un elemento diseñado para interpretar y transformar los cambios de temperatura en un medio que se encuentra, en cambios de señales eléctricas que posteriormente son enviadas a un dispositivo para ser procesadas y acondicionadas.

Existen diferentes tipos de sensores de temperatura en el mercado los cuales son utilizados dependiendo de su aplicación, el ambiente y rango de temperatura en el cual va a ser aplicado.

En la figura 1.25 se puede observar los diferentes sensores de temperatura.

1.7.3 RTD (*Resistance Temperature Detector*)

Es un detector de temperatura cuyo funcionamiento se basa en el cambio de la resistencia eléctrica de un conductor con la temperatura, este cambio no indica que el número de electrones en estado de conducción aumente o disminuya, sino que existirá una mayor vibración por parte de los iones del conductor, lo que implica una serie de choques entre los iones y los electrones impidiendo el flujo de estos últimos. Al ocurrir esto se presentará una menor circulación de electrones en el conductor, aumentando su impedancia de manera proporcional a la temperatura (MARTINEZ & ROJAS, 2011).

Las ventajas presentadas al emplear este tipo de sensor es que posee un amplio margen de temperatura (- 200 °C a 800 °C), una amplia sensibilidad lo que nos entrega medidas con mucha exactitud y repetitividad. Uno de los inconvenientes son sus altos costos en comparación a los termopares o a los termistores.

Estos sensores son los más adecuados para procesos en los que se requiera un alto grado de exactitud en las medidas.

1.7.3.1 PT100 y PT1000

Es un sensor de temperatura que consiste en un alambre de platino que a 0°C tiene 100 Ohmios. Cuando aumenta su temperatura la resistencia eléctrica también aumenta, la curva de respuesta se puede verificar en la figura 26-1.

Normalmente los PT100 industriales se consiguen encapsulados en la misma forma que la termocuplas, se encuentran dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material, dando valores de resistencia a 0°C más habituales son los de 100 y 1000 Ohm.

La PT100 varía 38,5 Ohm cada 100°C y la PT1000 varía 385 Ohm cada 1000°C.

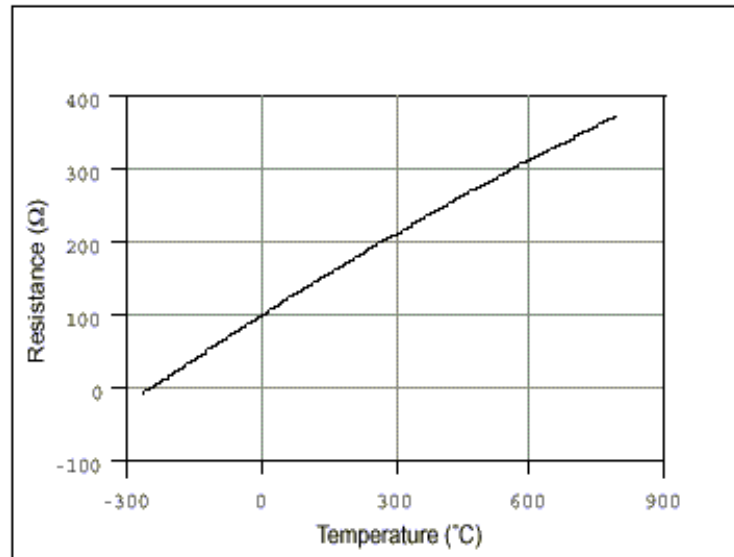


Figura 25-1 Curva De Respuesta De Un PT100

Fuente: <http://www.ni.com/>

1.7.3.1.1 Ventajas del PT100

- Superan específicamente en aplicaciones de bajas temperaturas (-100 a 200°C)
- Entrega precisiones de una décima de grado.
- Puede ser colocado en cierta distancia del medidor sin mayor problema.
- Se puede utilizar cable de cobre convencional para hacer extensiones.

1.7.4 Termopar

También llamado termocupla, es un dispositivo formado por la aleación de dos metales distintos. Al aplicarse una temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje en el orden de los milivoltios que se incrementa con la temperatura, el cual es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos llamado “punto caliente” y el otro denominado “punto frío” de referencia.

Estos sensores son los más utilizados en la industria ya que son relativamente económicos y operan a un gran rango de temperatura, son intercambiables, tienen conectores estándar, El inconveniente más relevante es su precisión que es muy pequeña en comparación con los RTD o los termistores.

1.7.5 Sensor óptico

Los sensores de presencia tienen como finalidad determinar la presencia de un objeto en un intervalo de distancia especificado. Este tipo de sensores se pueden utilizar en relación con la forma de agarrar o evitar un objeto (Garcia Cruz, 2010).

Se suelen basar en el cambio provocado en alguna característica del sensor debido a la proximidad del objeto.



Figura 26-1 Sensores Ópticos

Fuente: <http://www.ni.com/>

1.7.5.1 Sensor Fotoeléctrico Reflectivo

Este tipo de sensor tienen el componente emisor y el componente receptor en un solo cuerpo, el haz de luz se establece mediante la utilización de un reflector (ESPEJO). El objeto al cortar el haz de luz que proyecta el sensor con el espejo formado entre el componente emisor, el reflector y el componente receptor es interrumpido generándose un 1 o un 0. Debido a esto, la detección no es afectada por el color del mismo. El reflector debe estar debidamente alineado al sensor como podemos ver en la figura 28-1.

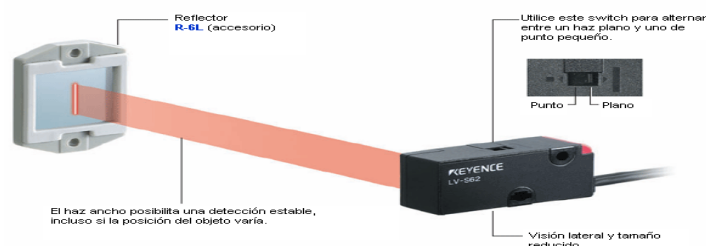


Figura 27-1 Sensor fotoeléctrico refractivo

Fuente: <http://www.keyence.com.mx/>

1.7.5.1.1 Ventajas del sensor fotoeléctrico refractivo

- El cableado es a un solo lado
- Fácil instalación espejo y sensor
- Detección de objetos transparentes y opacos.

1.7.6 Sensor magnético

Es un dispositivo que se caracteriza por accionar el proceso de conmutación cuando se detectan la presencia de objetos magnéticos (por lo general imanes permanentes) como se indica en la figura 29-1. Son utilizados para monitorear la posición de un objeto sin contacto directo con el mismo.



Figura 28-1 Sensor Magnético

Fuente: <http://img.directindustry.es/>

Las ventajas al usar este tipo de sensor son:

- No existe desgaste de contactos
- Sustituye a los interruptores mecánico
- Posee un tamaño pequeño
- Son resistentes a ambientes contaminados

1.8 Actuadores eléctricos

Un actuador eléctrico es un dispositivo que transforma energía eléctrica en una salida usualmente mecánica, la cual lograra un resultado sobre el proceso a automatizar.

Los actuadores eléctricos efectúan acciones físicas establecidas por un sistema de control. Esta acción física puede ser un movimiento lineal o circular según se dé el caso. Los actuadores eléctricos usan la energía eléctrica para que se ejecuten sus movimientos.

1.8.1 Resistencia eléctrica (Niquelinas)

Las resistencias eléctricas o conocidas como niquelinas se utilizan para convertir energía eléctrica en calor. La cantidad de calor suministrada varía por la cantidad de tiempo que la resistencia esté conectada.

Según la ley de joule la cantidad de calor desprendido de una resistencia es directamente proporcional al cuadrado de la intensidad de corriente y directamente proporcional al valor de la resistencia y al tiempo. (BLANCO ALVAREZ, 2004)

Son fabricadas con un alambre de una aleación de níquel (80%) y cromo (20%), soporta temperaturas altas de hasta 1000° C, de alta resistencia e inoxidable.

El calentamiento por resistencias eléctricas puede ser directo, cuando la corriente eléctrica pasa por las piezas, o indirecto, cuando las piezas se calientan por radiación, convección o una combinación de ambas. (BLANCO ALVAREZ, 2004)

1.8.1.1 Resistencia de abrazadera

La resistencia de abrazadera se emplea comúnmente en máquinas de extrusión e inyección de plástico en todo el cilindro que cubre al husillo.

Existen resistencia de este tipo capaces de abrazar cualquier longitud y diámetro a cualquier potencia y tensión que entre en rangos admisibles.



Figura 29-1 Resistencia de abrazadera

Fuente: <http://www.juliomartineznaya.com>

Según la temperatura de trabajo existen dos cualidades posibles (Martínez Naya, 2015):

- Hasta 250°C se fabrican con aislamiento de mica. La carga de superficie máxima admisible es de $4\text{W}/\text{cm}^2$.
- Superior a 250°C el aislamiento es cerámico. La carga de la superficie máxima admisible es de $9\text{W}/\text{cm}^2$.

Tanto como un tipo de aislamiento como otro, las resistencias están aisladas y protegidas eléctricamente y cubiertas con chasis de acero inoxidable.

En la figura 31-1 se representan los tipos de calentadores eléctricos que se pueden encontrar en el mercado.

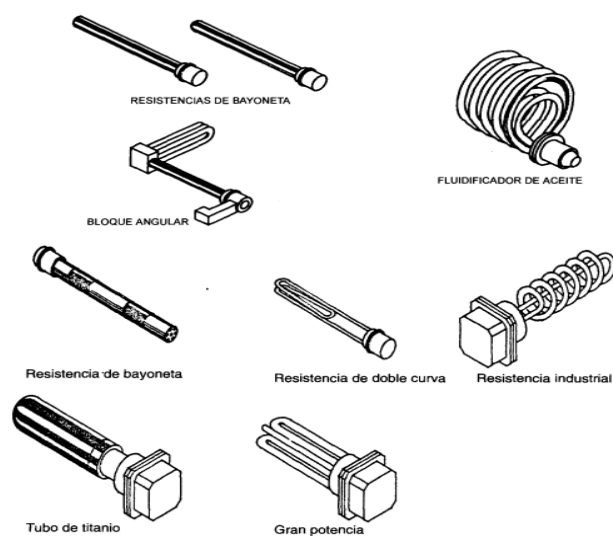


Figura 30-1 Tipos De Calentadores Eléctricos

Fuente: <http://www6.uniovi.es/>

1.8.2 *Motor eléctrico monofásico*



Figura 31-1 Motor Eléctrico

Fuente: <http://www.pemco.com.pa/>

Los motores eléctricos figura 32-1 son dispositivos los cuales son capaces de transformar la energía eléctrica de la cual están alimentados en energía mecánica. Están formados por un estator y un rotor.

Estos motores cuentan con solo un devanado en el estator, llamado devanado inductor. Son comúnmente con el rotor en jaula de ardilla.

1.8.2.1 *Motoreductores DC*

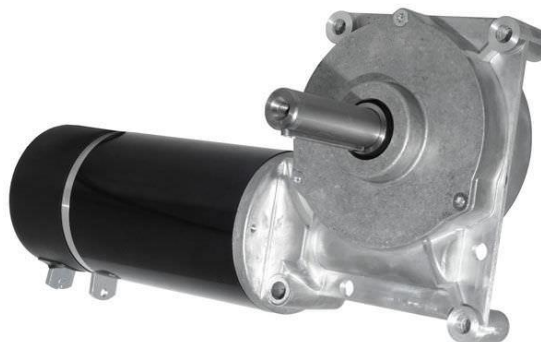


Figura 32-1 Motoreductor DC

Fuente: <http://img.directindustry.com/>

Los motoredutores son adecuados para acondicionar toda clase de máquinas y aparatos de uso industrial, los cuales buscan reducir su velocidad en una forma segura y eficiente, su forma básica se puede observar en la figura 33-1.

1.8.2.2 Beneficios de los motoredutores:

- Regulación constante en la velocidad y potencia transmitida.
- Eficiencia en la transmisión de la potencia.
- Reducción de costos de mantenimiento.
- Para el montaje se requiere menor espacio y se obtiene mayor rigidez.
- Tiempo de instalación mínimo.

1.9 COMPONENTES ELÉCTRICOS DE POTENCIA

1.9.1 Contactor



Figura 33-1 Contactor

Fuente: <http://www.areatecnologia.com>

Es un instrumento de conexión capaz de establecer, mantener y suspender la corriente en un circuito; dicho dispositivo está diseñado para tolerar grandes cargas en sus contactos principales a pesar de que la tensión que presenta la bobina es reducida.

Mediante la bobina del contactor, dicha bobina al ser excitada (tensión) causará la abertura o cierre de los contactos. El contactor siempre contará con polos o contactos principales que debido a la acción de la bobina ya excitada se cerrarán cambiando así su posición de reposo (normalmente abierta), lo cual a su vez otorgará tensión al receptor de potencia.

Asimismo pueden constar de uno o varios contactos auxiliares cuyas posiciones de reposo que pueden ser abiertas o cerradas cambian al excitarse la bobina como se puede observar en la figura 34-1.

1.9.1.1 Partes Del Contactor

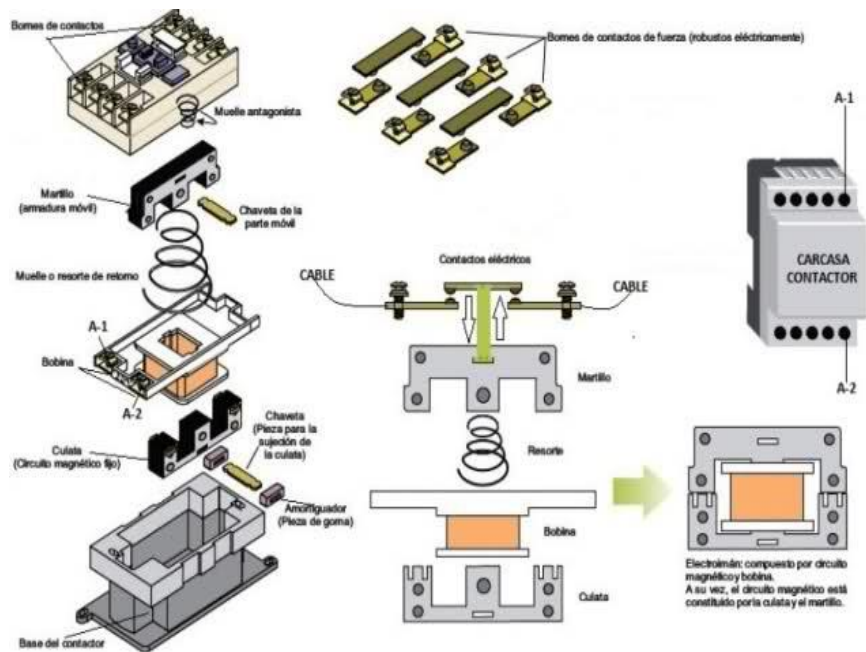


Figura 34-1 Partes de un Contactor

Fuente: <http://4.bp.blogspot.com/>

- **Carcasa.-** Es la parte exterior del contactor, el cual está elaborado de material no conductor, la carcasa se usa como soporte de los elementos que forman el contactor.
- **Electroimán.-** Es el también llamado el circuito magnético, está formado por varios elementos los mismos que transforman la energía en un campo magnético, el cual producirá un movimiento mecánico.
- **Bobina.-** Está formada por un arrollamiento de cable de cobre con un gran número de espiras, posee una sección delgada para ser capaz de producir un campo magnético.
- **Núcleo.-** Es una parte metálica ferromagnética, comúnmente en forma de E la cual va fija a la carcasa.

- **Armadura.-** Está diseñada para que cuando la bobina esta energizada cierre el circuito magnético.
- **Contactos.-** Son componentes de propiedades conductivas los cuales permiten o no el paso de la corriente cuando la bobina este energizada.

1.9.1.2 Selección De Un Contactor

Debemos tener en cuenta lo siguiente (FIALLOS SILVA & GUALLICHICO ATI, 2013):

- Tipo de corriente, tensión de alimentación de la bobina y la frecuencia.
- Potencia nominal de la carga.
- Poder de cierre. Valor de corriente con la que un contactor puede establecer conexión sin correr peligros que sus contactos se suelden.
- Corriente de servicio: ligera, normal, dura, extrema. Existen maniobras que modifican la corriente de arranque y de corte.
- Si se va a utilizar en el circuito de potencia o de mando y el número de contactos auxiliares necesarios.
- Para trabajos silenciosos o con altas frecuencias de maniobra se recomienda el uso de contactores de estado sólido.

1.9.2 Relé



Figura 35-1 Relé

Fuente: <http://img.alibaba.com/>

Los relés están formados por una bobina que realiza una inducción magnética al ser excitada con corriente, lo que provoca que se abran y cierren los contactos del relé debido a la aparición de una fuerza atractiva.

Los relés de interfaz son muy utilizados en la industria específicamente en la automatización de la misma, estos se utilizan para transmitir señales de bajo voltaje con señales de potencia, sin que exista la posibilidad de que ingrese dicha señal de potencia al equipo que envía la señal de voltaje pues si sucede causaría un daño en dicho equipo.

1.9.2.1 Tipos de relé

Se tiene una gran variedad de relés sometidos a distintos criterios como son:

- Número de contactos.
- A su intensidad admisible.
- Tipo de corriente de accionamiento
- Tiempo de activación y desactivación
- Otros.

1.9.2.2 Partes de un relé

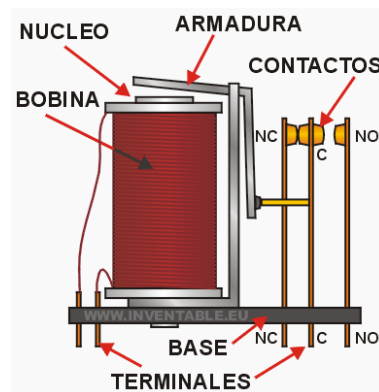


Figura 36-1 Partes de un Relé

Fuente: <http://www.inventable.eu/>

1.10 ELEMENTOS DE MANIOBRA Y CONTROL

1.10.1 Pulsador

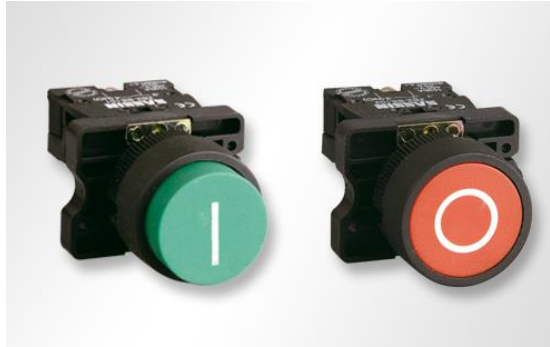


Figura 37-1 Pulsador

Fuente: <http://www.sassinelectric.com/>

Este dispositivo requiere que el usuario permanezca presionando para que los contactos se unan y se produzca el flujo de corriente.

1.10.2 Lámparas de señalización

Las lámparas de señalización o conocidas también como lámparas piloto son usadas como indicadores de que se han realizado ciertas acciones específicas, las mayormente usadas son las indicadas en la figura 39-1.



Figura 38-1 Lámparas De Señalización

Fuente: <http://g01.a.alicdn.com/>

Lámpara Roja:

- Indica parada del equipo (desconexión).
- Paro de unidades que forman la máquina.
- El paro de un ciclo (cuando el usuario pulsa el botón de paro).
- El paro en caso de peligro.

Lámpara Verde:

- Indica marcha (preparación).
- Muestra que la máquina se ha prendido.
- Arranque o energización de unidades de la máquina.

1.10.3 Conductores



Figura 39-1 Conductores

Fuente: <http://www.covisa.cl/>

Un conductor eléctrico es un material que presenta poca resistencia al paso de la electricidad existen varios tipos los cuales se puede observar en la figura 40-1.

- **Conductor fase (F,L)**

Este conductor puede ser de cualquier color diferente al del neutro o tierra, pero los más utilizados por normas son:

- Aislante negro
- Aislante rojo
- Aislante azul oscuro

- **Conductor neutro**

Se usan comúnmente como:

- Aislante blanco mayormente utilizado en las instalaciones eléctricas de viviendas.
- Aislante azul claro

- **Conductor de tierra**

El conductor de tierra se puede identificar de tres formas:

- Se usan con el aislante de color verde
- También puede poseer una línea helicoidal o recta de color amarillo.
- Además se lo puede encontrar como un alambre o cable desnudo (sin aislante). Este cable por lo general es de cobre.

1.11 PROTECCIONES ELÉCTRICAS

Son todos los elementos encargados de brindar protección a los equipos, líneas y a las personas ante los contactos directos o indirectos que puedan producirse además de cortocircuitos o sobre intensidades.

1.11.1 Fusibles y Portafusibles



Figura 40-1 Fusible y Portafusibles

Fuente: <http://img.directindustry.es/>

Normalmente son ubicados e instalados al comienzo de la línea eléctrica y constituyen el punto de mayor debilidad en la misma. Se encuentran formados por un filamento conductor el cual se encuentra calibrado para un máximo amperaje determinado, cuando el valor de la intensidad eléctrica sobrepasa el máximo, el calor producido funde el filamento lo que interrumpirá el circuito eléctrico y el paso de la corriente.

1.11.2 Interruptor Magnetotérmico



Figura 41-1 Interruptor Magnetotérmico

Fuente: <http://www.enerlighth.com.pe/>

El interruptor magnetotérmico tiene dos tipos de protección integrados, los cuales actúan cuando se produce una sobrecarga de corriente o un cortocircuito (figura 42-1).

Es utilizado en las cajas de revisión de las instalaciones eléctricas de domicilios industrias, tableros de distribución etc. para protección individual de cada uno de los circuitos o líneas.

1.12 ELECTRÓNICA DE POTENCIA

Es una rama de la electrónica que se ha destinado para al estudio de los diferentes usos en los que se emplea distintos dispositivos electrónicos como los semiconductores; entre las principales aplicaciones se encuentran el control y conversión de corrientes y voltajes de energía eléctrica de niveles relevantes.

1.12.1 Variador de frecuencia (VDF)

El variador de frecuencia (VDF) o conocido también como convertidores de frecuencia. Son sistemas o dispositivos electrónicos que permiten variar la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC), por medio del control de la frecuencia suministrada al motor.

Estos manejan la frecuencia hallada en el campo eléctrico del rotor. El rotor es la parte más importante que controla la velocidad, torque, dirección y potencia del motor.

1.12.1.1 Funcionamiento de un VDF

Estos en si entregan voltaje y frecuencia variable dependiendo a las necesidades del motor y la carga conectada. Su funcionamiento es simple toma la alimentación eléctrica de la red, la transforma en voltaje continuo y luego lo transforma en voltaje trifásico de magnitud y frecuencia variable por medio de un inversor como se lo puedo ver en la figura 1.43.

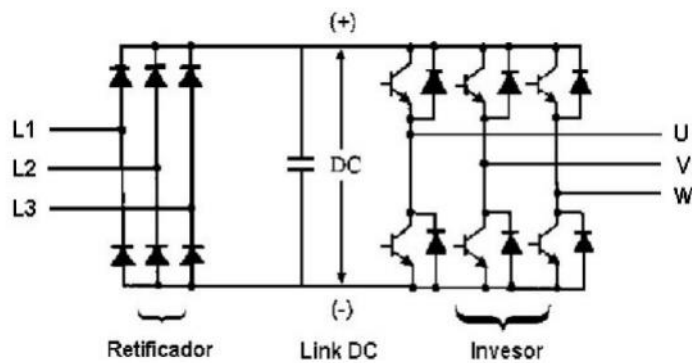


Figura 42-1 Circuito Inversor de VDF

Fuente: <http://www.aie.cl/>

Es posible también alimentar un motor a partir de un suministro de corriente continua, y también contar con un rectificador monofásico de modo de poder alimentar un motor trifásico a partir de una fuente de alimentación monofásica.

1.12.1.2 Estructura interna de un variador

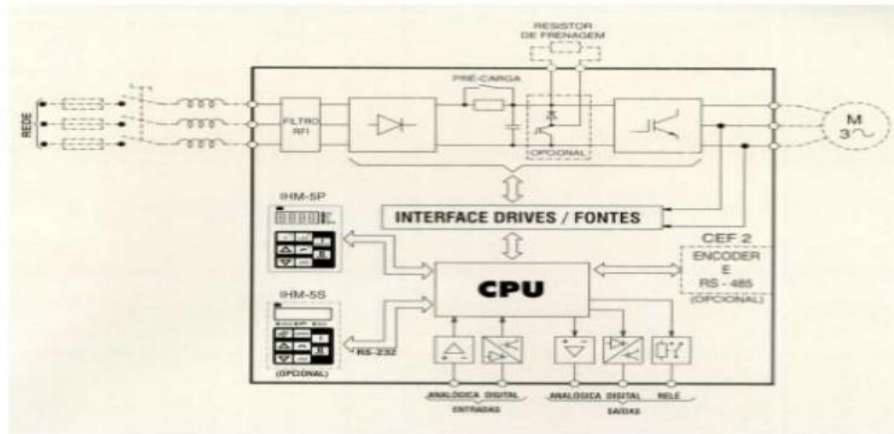


Figura 43-1 Estructura Interna de un VDF

Fuente: <http://www.aie.cl/>

1.12.1.3 Elección de un variador

Para poder elegir un variador se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Potencia del motor.
- Tipo de carga que manejamos.
- Dinámica del accionamiento.
- Precisión requerida.

1.12.1.4 Ecuación para controlar la velocidad del motor

Para calcular el valor de se emplea la siguiente fórmula:

$$RPM = \frac{60 * f}{P}$$

Ecuación 1-1 Ecuación para calcular las RPM de un motor

RPM= Velocidad mecánica

f= frecuencia de alimentación (Hz)

P=número de polos

1.12.1.5 Ventajas de un VDF

Existen varias ventajas en la utilización de variadores de frecuencia (Cañadas, 2002).

1.12.1.5.1 En la alimentación eléctrica

- Menor sobre intensidad de arranque
- Posibilidad de ahorro energético
- Optimización del factor de potencia

1.12.1.5.2 En el motor

- Menores esfuerzos mecánicos
- Menos calentamientos

1.12.1.5.3 Del sistema

- Control continuo y a distancia
- Flexibilidad de configuración
- Reglaje según aplicación

1.12.2 Tiristores

1.12.2.1 Definición

Se conoce como tiristores al conjunto de dispositivos electrónicos de cuatro capas (pnpn) fabricados a partir de semiconductores los cuales al depender de la temperatura varían su funcionamiento como aislantes o conductores.

La mayoría de los tiristores permiten el paso de la corriente eléctrica en un solo sentido por lo que son considerados como unidireccionales, pero también existen tiristores que pueden conducir energía eléctrica en ambos sentidos los cuales son la combinación de tiristores unidireccionales en configuración antiparalela.

1.12.2.2 Funcionamiento

Un tiristor cumple la función de un interruptor mecánico, es decir solo posee dos estados de funcionamiento, lo cual determina que el paso o bloqueo de la corriente sea total sin existir un estado intermedio.

Al proporcionar un pulso de corriente en su terminal de control denominada Gate o Compuerta, el tiristor se acerca rápidamente al punto de activación a medida que el valor de la corriente de compuerta se vaya incrementando. Para lograr el paso del estado de conducción al estado de bloqueo es necesario la interrupción de la fuente de voltaje, abrir el circuito o hacer circular una corriente inversa por el dispositivo.

1.12.2.3 Aplicaciones

Entre las principales aplicaciones en las que se emplean los tiristores son aquellas en las que los valores de corrientes y/o voltajes son grandes, también son empleados para limitar el voltaje por medio de PWM accionados por ángulo de fase.

En circuitos digitales se los emplea como fuente de energía, de tal modo que cumplen la función de interruptores automáticos pudiendo interrumpir el funcionamiento de un circuito cuando circule una corriente de excesivo valor.

Entre otras aplicaciones tenemos: generación de potencia a distancia, control de velocidad de motores, graduación de iluminación, regulación de fuentes de alimentación, protectores de sobrecarga, etc.

1.12.2.4 SCR

Rectificador controlado de silicio (SCR), es un dispositivo que posee tres terminales (figura 45-1), su funcionamiento se asemeja al de un interruptor, existiendo un flujo de corriente unidireccional de ánodo a cátodo cuando se encuentra en estado de conducción, y evitando el flujo de corriente cuando la resistencia entre ánodo y cátodo es alta, es decir cuando se encuentra en el estado de corte.

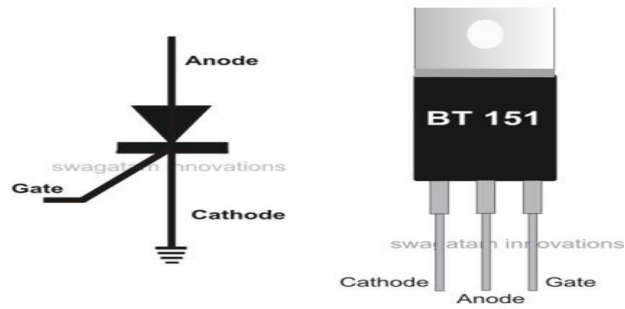


Figura 44-1 Símbolo y aspecto físico del SCR

Fuente: <http://www.brighthubengineering.com/>

Para interrumpir la conducción a través del dispositivo, la corriente que circula por él debe ser de un valor menor a la corriente I_H (corriente de mantenimiento).

Para entrar en estado de conducción se debe polarizar directamente el ánodo y cátodo superando el valor de V_{BO} , de esta manera se lograra establecer el punto de mantenimiento, el tiempo para determinar la conducción disminuirá a medida que la corriente I_G aumente.

1.12.2.5 DIAC

También llamado tiristor diodo bidireccional, o conocido por sus siglas DIAC (diodo para corriente alterna), es un dispositivo de dos terminales cuya estructura se puede identificar en la figura 1.52, el DIAC permite la conducción solo luego de haber superado su voltaje de disparo (20-36 voltios), y siempre que la corriente que circula a través de sus terminales no sea inferior a la corriente de mantenimiento I_H .

Este tipo de tiristores son comúnmente utilizados para disparar TRIAC u otro tipo de tiristores.

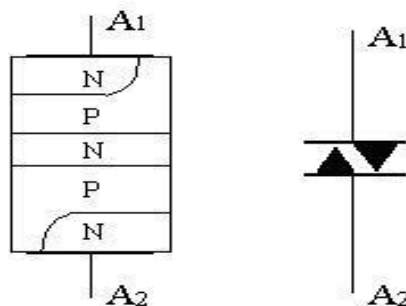


Figura 45-1 Constitución interna y símbolo del DIAC

Fuente: <http://www.geocities.ws/germancruise/>

1.12.2.6 TRIAC

Conocido también como Tiristor tríodo bidireccional, su característica principal es que tiene la capacidad de conmutar corriente alterna en ambos sentidos; su uso más común es de regular la cantidad de corriente promedio cedida a una carga.

Su estructura interna se la puede observar en la figura 47-1, en la cual verificamos que es semejante a dos Scrs conectados en paralelo en sentido opuesto, o también se lo puede asimilar como un DIAC con un terminal de compuerta para su activación.

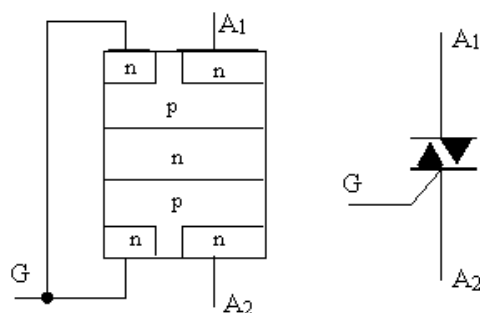


Figura 46-1 Constitución interna y símbolo del TRIAC

Fuente: <http://www.profesormolina.com.ar/>

Se puede encender el TRIAC aplicando una tensión positiva entre la compuerta G y el terminal A1 siempre y cuando A2 sea positivo en referencia al terminal A1. Si A2 es negativa con respecto a A1 se puede disparar al TRIAC aplicando una tensión negativa entre G y A1.

El estado ON del TRIAC se mantiene hasta que la corriente que circula a través de él disminuya por debajo del valor de la corriente de mantenimiento I_H .

1.12.3 Diseño de circuitos impresos

El diseño de un circuito impreso es utilizado para enlazar eléctricamente por medio de pistas de cobre y sujetar a través de la baquelita a un grupo de elementos eléctricos y/o electrónicos, con la finalidad de obtener un sistema eficiente y facilitar el funcionamiento del circuito.

1.12.4 Normas básicas para el diseño de circuitos impresos.

- Elaborar un diseño donde la distribución de elementos sean lo más sencillos posible, así como también la distancia de pistas sean muy cortas.
- En los cambios de dirección de pistas y/o en las intersecciones con otras pistas se deberá evitar los ángulos de 90° y los ángulos agudos.
- Debe existir una distancia de separación uniforme entre dos o más pistas paralelas.
- El ancho de pista dependerá de la cantidad de corriente que se circulara a través de ella.

En la tabla 5-1 se detalla el ancho de la pista en milímetros y el amperaje que soporta en dependencia de la temperatura admisible.

Tabla 5-1 Ancho De Pistas Según La Cantidad De Corriente

Anchura de pista en mm	Incr. de T° Admisible		
	10°C	20°C	30°C
0.36 mm	0.9 A	1.2 A	1.8 A
0.4	1	1.3	1.9
0.72	1.8	2.7	3.5
1.14	2.7	3.8	4.6
1.78	3.7	5.2	6.2
2.5	4.7	6.8	8.2
3.5	5.7	8.3	10.5
4.5	7	9.7	12
5.8	7	11.2	14
7.1	9.1	13	16.1

Fuente: <http://usuaris.tinet.cat/sje/pcb/diseno.htm>

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

- La separación entre pistas, estará determinada por la diferencia de potencial entre pistas como se describe en la tabla 6-1.

Tabla 6-1 Separación De Pistas Según La Diferencia De Potencial

Dif. de Potencial en Voltios	Separación en mm
DDP < 50	0.5
50 < DDP < 100	0.7
100 < DDP < 170	1
180 < DDP < 250	1.2
250 < DDP < 500	3

Fuente: <http://usuariis.tinet.cat/sje/pcb/diseno.htm>

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

- 3 mm será la separación mínima entre el borde de la placa y las pistas.
- No se debe trazar pistas entre dos terminales de un componente activo.
- La conexión entre una pista y un pad debe ser radial.
- La unión de pads contiguos se deberá realizar a través de pistas y no directamente entre pads.
- En cada pad pueden conectarse cuatro pistas como máximo.
- Se debe considerar la sujeción de la placa a un chasis o a una caja.
- Los componentes se deberán colocar de una forma paralela a los bordes de la placa.
- Los conectores se colocaran en los alrededores de a placa para facilitar su manipulación.
- Los dispositivos que disipan calor serán colocados en zonas donde reciban suficiente ventilación de modo que no transmitan calor a otros componentes.

1.12.5 Software de diseño de circuitos impresos

Proteus es un software el más conocido y utilizado en la ingeniería, fue desarrollado por la compañía Labcenters Electronics, utilizado para la simulación y diseño de circuitos electrónicos. Está conformado por dos paquetes principales: ISIS y ARES.

ISIS, Intelligent Schematic Input System, es el software que permite elaborar esquemas de circuitos eléctricos y electrónicos a partir del empleo de componentes básicos como resistencias, capacitores, como también el uso de microcontroladores, fuentes, instrumentos de medición, pudiendo simularse en tiempo real el comportamiento del diseño esquematizado.

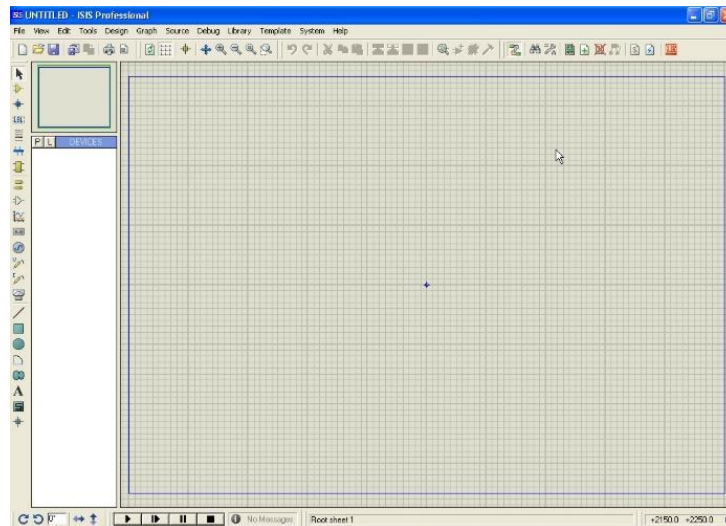


Figura 1-1 Interfaz del software ISIS

Fuente: <http://1.bp.blogspot.com/>

ARES, Advanced Routing and Editing Software, es el paquete perteneciente a Proteus que nos brinda la posibilidad de diseñar circuitos impresos a partir de diagramas electrónicos esquematizados en ISIS (figura 48-1). Principalmente nos permite realizar la edición de la conexión de pistas, ubicación de componentes, y también la edición de la capa superficial y de soldadura.

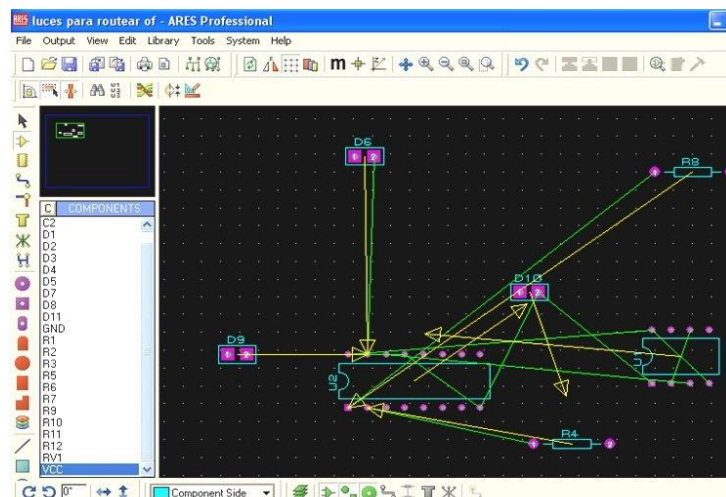


Figura 2-1 Interfaz del software Ares

Fuente: <http://www.taringa.net/comunidades/librostutoriales>

Debido a la integración entre Isis y Ares podemos tener por seguro que nuestro circuito impreso tendrá todas las conexiones de componentes establecidas en el diagrama electrónico.

Una gran ventaja que presenta este software es que el diseño se facilita por completo gracias a una de sus herramientas que permite la ubicación de componentes y enlace de pistas se realice de forma automática, tomando muy en cuenta las normas básicas de diseño, cayendo así el trabajo duro sobre la PC en lugar de sobre del diseñador.

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

Este capítulo considera el diseño e implementación de los circuitos eléctricos, electrónicos, programación del PLC, programación del HMI, cabezal de la extrusión y enrollador de hilo, además se describe los esquemas eléctricos.

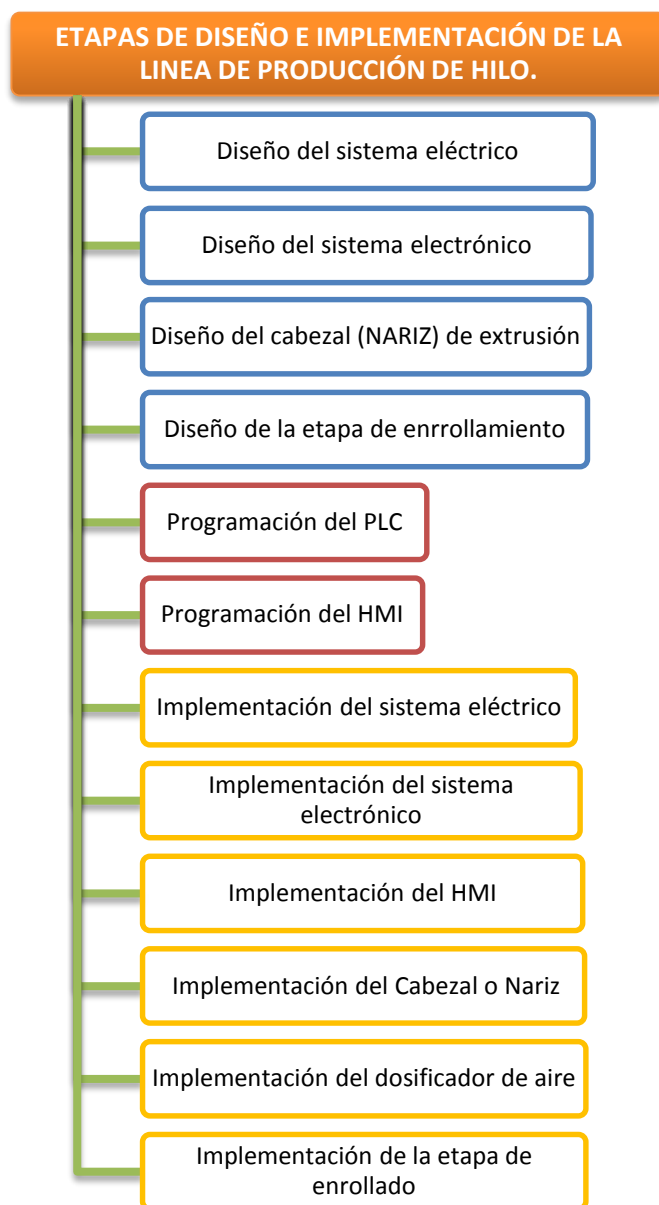


Gráfico 1-2 Etapas de diseño e implementación de la línea de producción de hilo.

Fuente: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

Para el diseño en implementación de los sistemas eléctrico, electrónico se utilizó el método heurístico el cual se basa en la utilización de reglas empíricas para llegar a una solución. El método heurístico conocido como “IDEAL”, incluye cinco pasos: Identificar el problema; definir y presentar el problema; explorar las estrategias viables; avanzar en las estrategias; y lograr la solución y volver para evaluar los efectos de las actividades.

2.1 Etapas de diseño e implementación de la línea de producción de hilo

- **Diseño del sistema eléctrico:**

En el diseño del sistema eléctrico se realizó el cálculo de fusibles y conductores para cada uno de los elementos que se utilizan en el sistema los cuales son fuente, PLC, motor, resistencia eléctrica, y luces.

Se desarrolló el diagrama del circuito de mando en el programa CAdESIMU el cual representa las conexiones de los equipos y dispositivos.

Se muestra además las conexiones de las entradas y salidas del PLC, como están identificadas en el manual.

- **Diseño del sistema electrónico**

Se diseñó dos circuitos electrónicos el cual consta de un controlador de fase (DIMMER) y un regulador de velocidad con PWM.

El controlador de fase está diseñado para regular la potencia entregada a cada resistencia eléctrica. El regulador de velocidad con PWM está encargado de proveer de un voltaje bajo de 0 Vdc a un alto 24Vcd para el control de velocidad de un motor DC.

Se realizaron las siguientes adecuaciones:

- Variación de temperaturas en cada etapa
- Expansión de la señal COM de entradas del PLC
- Aumento de componentes electrónicos de potencia

Se realizó además el diseño de cada circuito impreso.

- **Diseño del cabezal (Nariz) de la etapa de extrusión**

En la etapa de extrusión se diseñó un nuevo cabezal (Nariz) el cual consta con el diseño a base de parámetros como forma del cabezal, ángulo de inclinación de la nariz y número de orificios con su diámetro necesario que determinan el éxito de la salida de materia prima o fibras en forma de fideos manipulables que varían en función de las propiedades de flujo del polímero fundido que se espera de la extrusora.

- **Diseño de la etapa de enrollamiento**

Se realizó el diseño mecánico eficiente para el enrollado y almacenamiento de cada uno de los filamentos de hilo que serán distribuidos manualmente en cada carrete, dándonos así un correcto diámetro y almacenamiento del hilo.

- **Programación del PLC**

En esta etapa se describen las entradas y salidas analógicas y digitales que intervienen en el sistema. Además se desarrolló el GRAFCET.

- **Programación del HMI**

Se diseñó cada una de las ventanas que aparecerán en la pantalla táctil HMI.

- **Implementación del sistema eléctrico**

En esta etapa se realizó:

- Distribución de riel DIN y canaletas
- Disposición de fusibles, contactores, PLC, fuente dc, relés y borneras
- Cableado de dispositivos de protección y control
- Colocación de la pantalla HMI en el tablero
- Conexión de pantalla HMI, luces, botón de emergencia y botonera

- **Implementación del sistema electrónico**

Se realizó la implementación de los circuitos impresos soldando los elementos en la placa y sus correctas conexiones.

- **Implementación del HMI**

Se muestra la implementación de la programación en cada una de las ventanas que se mostrarán en el HMI.

- **Implementación del cabezal o Nariz**

Se muestra la implementación del nuevo cabezal en la etapa de extrusión.

- **Implementación del dosificador aire**

Se realizó la implementación del dosificador de aire, que une la etapa de secado con la etapa de extrusión, alimentando la tolva del extrusor con la materia prima.

- **Implementación del sistema de enrollado**

En esta etapa se muestra la implementación del sistema de enrollado de hilo plástico, con la utilización de un regulador de velocidad con PWM para un motor dc que gira los carretes.

2.2 Diseño del sistema eléctrico

Se realizó el dimensionamiento de fusibles y conductores para cada uno de los elementos que se utilizan en el sistema los cuales son fuente, PLC, transformador, motor, resistencia eléctrica, electroválvula y luces.

2.2.1 Cálculo de fusibles

El cálculo de la corriente de protección al utilizar fusibles se realiza con la siguiente fórmula:

$$I_f = k \times I_n$$

Ecuación 1-2 Ecuación para corriente de protección para fusibles

Dónde:

I_f = Corriente De Protección

K = Constante De Protección (1.8 A 2.1)

I_n = Corriente Nominal

2.2.1.1 Valores de los fusibles

En la tabla 1-2 se muestra un resumen de los valores de fusibles calculados para ser utilizado en cada equipo

Tabla 1-2 Valores De Los Fusibles Instalados

Equipo	Corriente nominal	Valor del fusible
Fuente	2.5 A	5A
PLC	0.091 A	1 A
Luces	45 mA	1 A

Fuente: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

2.2.1.2 Fuente

Para el cálculo del fusible en la fuente se utilizó la Ecuación 1-2 con los siguientes datos:

- ✓ Voltaje de funcionamiento $V=110\text{ V}$
- ✓ Corriente Nominal $I_n=2,5\text{ A}$
- ✓ Constante de Protección $k= 1,8$

Cálculos

$$I_f = k \times I_n$$

$$I_f = 1,8 \times 2,5 = 4,5\text{ A}$$

2.2.1.3 PLC

Para el cálculo del fusible en el PLC se utilizó la Ecuación 1-2 con los siguientes datos:

- ✓ Potencia $P=10\text{ W}$
- ✓ Voltaje de funcionamiento $V=110\text{ V}$
- ✓ Constante de Protección $k= 1.8$

Cálculos

$$I_n = \frac{P}{V}$$

$$I_n = \frac{10}{110} = 0.091 \text{ A}$$

$$I_f = k \times I_n$$

$$I_f = 1.8 \times 0.091 = 0.1638 \text{ A}$$

2.2.2 *Cálculo de potencia y resistencia de las niquelinas*

El cálculo de la resistencia de las niquelinas se realiza con la siguiente fórmula:

$$R = V/I$$

Ecuación 2-2 Ecuación para calcular resistencia

Dónde:

R= Resistencia eléctrica

V = Voltaje Nominal

I = Corriente Nominal

El cálculo de la potencia de las niquelinas se realiza con la siguiente fórmula:

$$P = V \times I$$

Ecuación 3-2 Ecuación para calcular la potencia de consumo

Dónde:

P= Potencia eléctrica

V = Voltaje Nominal

I = Corriente Nominal

Para el cálculo de la resistencia y potencia de consumo de las niquelinas se utilizó la Ecuación 2-2 y 3-2 con los siguientes datos:

- ✓ Voltaje de funcionamiento $V=220 \text{ V}$
- ✓ Corriente de consumo niquelina IN $I= 4.2 \text{ A}$
- ✓ Corriente de consumo niquelina OUT $I= 4.8 \text{ A}$

Cálculos

$$R_{in} = \frac{V}{I}$$

$$R_{in} = \frac{220}{4.2} = 48,89A$$

$$P_{in} = V \times I$$

$$P_{in} = 220 \times 4,2 = 862 \text{ W}$$

$$R_{in} = \frac{V}{I}$$

$$R_{in} = \frac{220}{4.8} = 45,83A$$

$$P_{in} = V \times I$$

$$P_{in} = 220 \times 4,8 = 924 \text{ W}$$

2.2.3 Cálculo de conductores

El cálculo de caída de tensión para un circuito monofásico es:

$$\Delta V = 2IReL$$

Ecuación 4-2 Caída de tensión para un circuito monofásico

El cálculo de caída de tensión para un circuito bifásico es:

$$\Delta V = IReL$$

Ecuación 5-2 Caída de tensión para un circuito bifásico

Dónde:

L= Distancia De La Fuente Hacia La Carga

Re = Resistencia Especifica Del Conductor

En la figura 1-2 se describe las dimensiones y características de los conductores

DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS

Calibre	Area sección transversal	Número de alambres	Diámetro nominal conductor	Número de alambres	Diámetro nominal conductor	Espesor del aislamiento nominal	Diámetro total aproximado	Peso teórico	Resistencia eléctrica CD a 20°C (1)	Ampacidad al aire libre a 30°C (2) amperes		
AWG/kCM	mm²	clase B	mm	clase C	mm	mm	mm	kg/100m	ohm/km	60°C	75°C	90°C
16	1,31	7	1,46	19	1,48	0,76	3,0	2,0	13,40	-	-	18
14	2,08	7	1,85	19	1,87	0,76	3,4	2,9	8,40	20	20	25
12	3,31	7	2,33	19	2,36	0,76	3,9	4,2	5,32	25	25	30
10	5,26	7	2,93	19	2,97	0,76	4,5	6,2	3,34	30	35	40
8	8,37	7	3,70	19	3,75	1,14	5,9	10,4	2,10	40	50	55
6	13,3	7	4,67	19	4,72	1,52	7,6	16,8	1,32	55	65	75
4	21,2	7	5,88	19	5,96	1,52	8,6	25,0	0,83	70	85	95
2	33,6	7	7,42	19	7,51	1,52	10,3	37,8	0,54	95	115	130
1/0	53,5	19	9,47	37	9,50	2,03	13,2	61,0	0,33	125	150	170
2/0	67,4	19	10,63	37	10,66	2,03	14,3	75,0	0,26	145	175	195
3/0	85,0	19	11,94	37	11,97	2,03	15,6	95,0	0,21	165	200	225
4/0	107	19	13,40	37	13,45	2,03	17,0	115	0,16	195	230	260
250	127	37	14,62	61	14,63	2,41	19,0	138	0,14	215	255	290
300	152	37	16,01	61	16,03	2,41	20,3	163	0,12	240	285	320
350	177	37	17,29	61	17,32	2,41	21,6	188	0,10	260	310	350
400	203	37	18,49	61	18,51	2,41	22,7	214	0,09	280	335	380
500	253	37	20,67	61	20,70	2,41	24,8	264	0,07	320	380	430
600	304	61	22,67	91	22,68	2,79	27,6	318	0,06	355	420	475
750	380	61	25,34	91	25,37	2,79	30,2	393	0,05	400	475	535
1000	507	61	29,27	91	29,29	2,79	34,0	517	0,03	455	545	615

Figura 1-2 Tablas para el cálculo del calibre de conductores eléctricos KOBREX

Fuente: <https://iguerrero.files.wordpress.com>

2.2.3.1 Fuente

Para el cálculo del conductor que se utilizará para la fuente se tomaron los siguientes datos:

- ✓ Corriente $I=2.5 \text{ A}$
- ✓ Voltaje de funcionamiento $V=110 \text{ V}$
- ✓ Longitud $L=5\text{m}$

Utilizamos la ecuación 2.4 para calcular a caída de tensión en un circuito monofásico.

• Cálculos

Cable Número 14

Según la figura 2.1 para el conductor #14 AWG la resistencia es de $8.40 \frac{\Omega}{\text{km}}$

Cálculo de caída de tensión para el conductor #14 AWG

$$\Delta V = 2IRL$$

$$\Delta V = 2(2.5A)(8.40 \frac{\Omega}{km})(5m)$$

$$\Delta V = 0.210$$

$$\Delta V = \frac{100 * \Delta V}{120} = \frac{100 * 0.0420}{120} = 0.035\%$$

Para que el conductor sea el ideal, la caída de tensión debe ser menor al 5%.

2.2.3.2 PLC

Para el cálculo del conductor que se utilizara para la fuente se tomaron los siguientes datos:

- ✓ Potencia P=10W
- ✓ Corriente I=0.091A
- ✓ Voltaje de funcionamiento V=110 V
- ✓ Longitud L=5m

Utilizamos la ecuación 2-2 para calcular a caída de tensión en un circuito monofásico.

• Cálculos

Según la figura 2.1 para el conductor #14 AWG la resistencia es de $8.40 \frac{\Omega}{km}$

Cálculo de caída de tensión para el conductor #14 AWG

$$\Delta V = 2IREL$$

$$\Delta V = 2(0.091A)(8.40 \frac{\Omega}{km})(5m)$$

$$\Delta V = 0.076$$

$$\Delta V = \frac{100 * \Delta V}{120} = \frac{100 * 0.152}{120} = 0.0102\%$$

Para que el conductor sea el ideal, la caída de tensión debe ser menor al 5%.

2.2.3.3 Motor

Para el cálculo del conductor que se utilizara para la fuente se tomaron los siguientes datos:

- ✓ Potencia P=0.37 kW

- ✓ Corriente $I=8,4 \text{ A}$
- ✓ Voltaje de funcionamiento $V=110 \text{ V}$
- ✓ Longitud $L=3\text{m}$

Utilizamos la ecuación 2.2 para calcular la caída de tensión en un circuito monofásico.

Para que el conductor elegido sea el ideal la caída de tensión debe ser menor al 5%

- **Datos**

$$P = \frac{1}{2} H_p = 0,37 \text{ W}$$

$$V=110\text{V}$$

$$I= 8.4 \text{ A}$$

- **Cálculos**

Cable Número 12

$$\Delta V = 2IR_eL$$

$$\Delta V = 2(8.4\text{A})(5.32 \frac{\Omega}{\text{km}})(3\text{m})$$

$$\Delta V = 0.268$$

$$\Delta V = \frac{100 * \Delta V}{120} = \frac{100 * 0.268}{120} = 0.223\%$$

2.2.3.4 *Resistencia Eléctrica INT*

- **Datos**

$$P= 0.924\text{W}$$

$$V=220\text{V}$$

$$I= 4.2 \text{ A}$$

- **Cálculos**

Cable Número 12

$$\Delta V = IR_eL$$

$$\Delta V = (4.2A)(3.34 \frac{\Omega}{km})(7m)$$

$$\Delta V = 0.098$$

$$\Delta V = \frac{100 * \Delta V}{220} = \frac{100 * 0.098}{220} = 0.045\%$$

2.2.3.5 Resistencia Eléctrica OUT

- Datos**

$$P= 1.056 \text{ W}$$

$$V=220V$$

$$I= 4.8 \text{ A}$$

- Cálculos**

Cable Número 12

$$\Delta V = IReL$$

$$\Delta V = (4.8A)(3.34 \frac{\Omega}{km})(8m)$$

$$\Delta V = 0.128$$

$$\Delta V = \frac{100 * \Delta V}{220} = \frac{100 * 0.128}{220} = 0.058\%$$

2.2.3.6 Bomba de H2O

- Datos**

$$P= 373 \text{ W}$$

$$V= 110 \text{ V}$$

$$I= 5 \text{ A}$$

- Cálculos**

Cable Número 10

$$\Delta V = 2IR_eL$$

$$\Delta V = 2(5A)(3.34 \frac{\Omega}{km})(10m)$$

$$\Delta V = 0.334$$

$$\Delta V = \frac{100 * \Delta V}{120} = \frac{100 * 0.334}{120} = 0.278\%$$

2.2.4 Conductores Utilizados

Tabla 2-2 Valores De Conductores

EQUIPO	CORRIENTE	CALIBRE AWG
Fuente	1.96 A	14 AWG
Plc	0.091 A	14 AWG
Motor	8.4 A	10 AWG
Resistencia eléctrica int	4.2 A	12 AWG
Resistencia eléctrica out	4.21A	12 AWG
Bomba H2O	5 A	10 AWG
Luces	45 mA	16 AWG

Fuente: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

2.2.5 Diagrama del circuito de mando

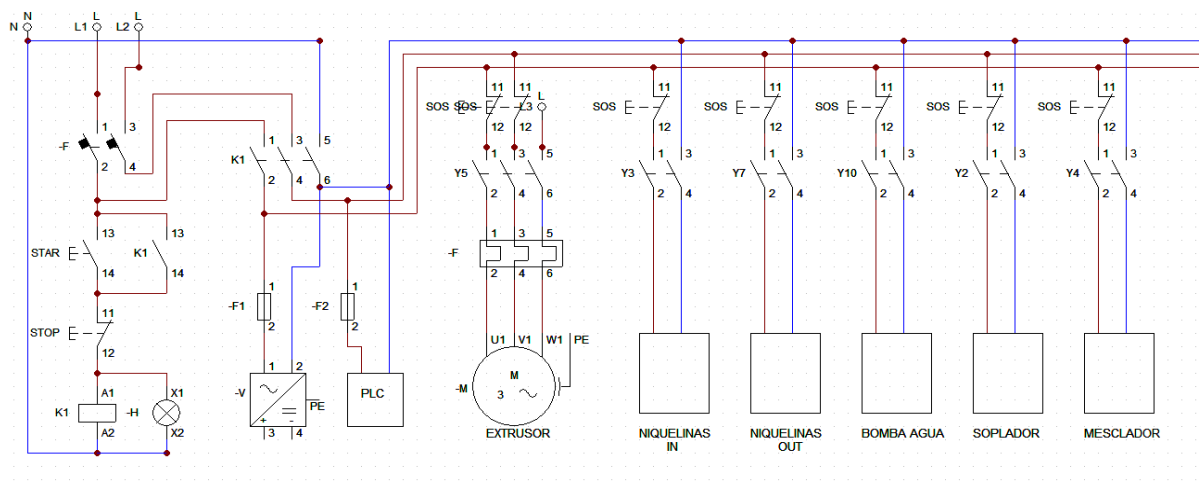


Figura 2-2 Circuito De Mando

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

2.2.6.3.2 Salidas de transistor

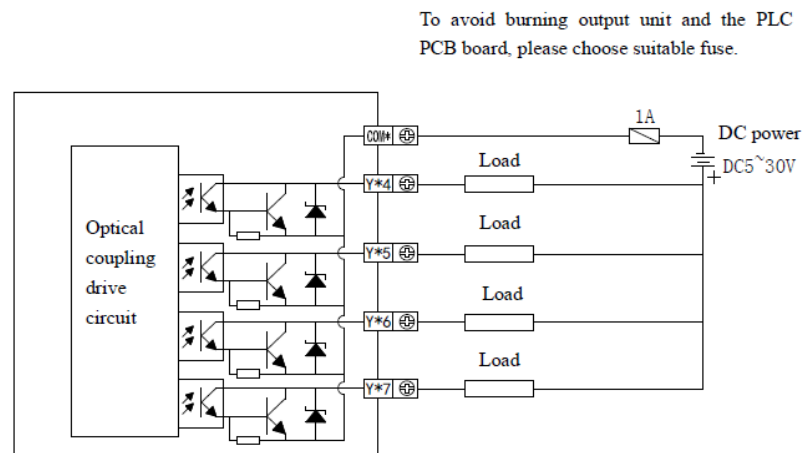


Figura 7-2 Ejemplo conexión salida por Transistor

Fuente: <http://www.xinje.pl/>

2.3 DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO

2.3.1 Circuito controlador de fase o DIMMER

Diseñado para regular la potencia y voltaje entregada a cada resistencia eléctrica de 400 watts y 200 watts ubicadas en el cabezal y a lo largo de husillo.

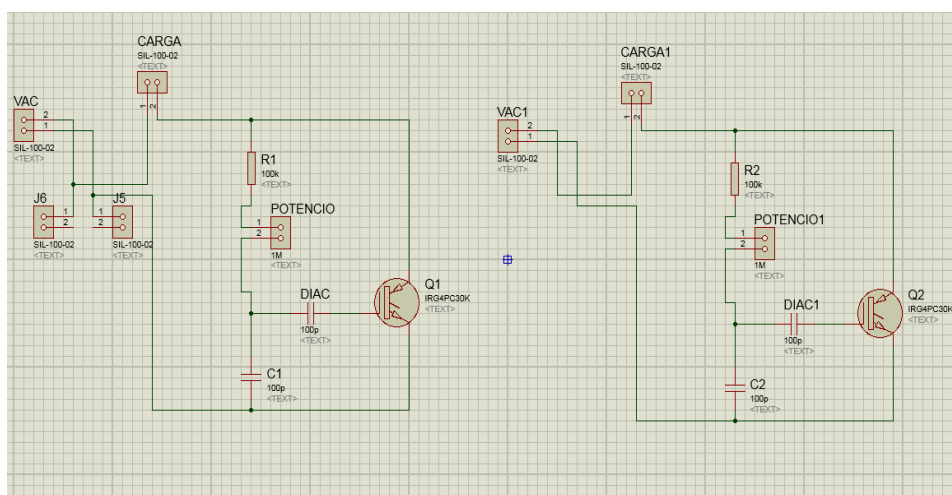


Figura 8-2 Circuito controlador de fase o DIMMER

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

2.3.2 Diseño de regulador de velocidad con PWM

El regulador de velocidad con PWM fue diseñado para obtener a mi salida dos niveles un alto (24Vdc) y un bajo (0Vdc) es decir a medida que se gire el potenciómetro cambia los niveles de disparo del monoestable haciendo que el motor reciba energía por tiempo determinado por el monoestable variando el giro del motor.

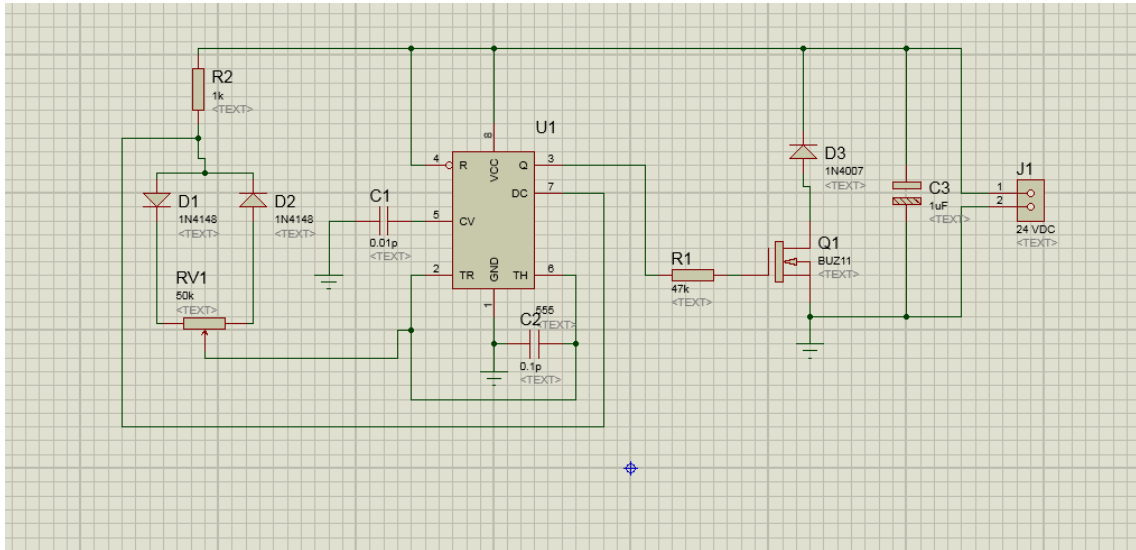


Figura 9-2 Circuito regulador de voltaje con PWM

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

2.3.2.1 Etapa de potencia del regulador de velocidad con PWM

El regulador de velocidad con PWM de la figura 9-2 tiene una capacidad de entregar una corriente muy limitada.

Se diseñó a su salida un circuito de potencia que consiste en colocar un transistor en la salida para aumentar la capacidad de entrega de corriente cuando este en nivel alto o bajo.

2.3.3 Diseño de la adecuación de señales.

2.3.3.1 Expansión de la señal COM de entradas del PLC

Se amplió la señal común de las entradas del PLC para facilitar las conexiones de dispositivos como sensores y pulsadores.

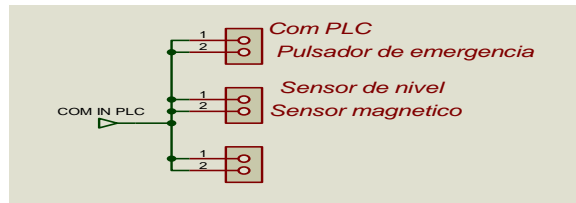


Figura 10-2 Expansión de la señal COM del PLC

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

2.3.4 *Diseño de circuito impreso del sistema electrónico.*

Tomando en cuenta las diferentes recomendaciones de diseño para la elaboración de placas electrónicas consultadas en el marco metodológico, se llevó a cabo el diseño de la placa con la ayuda del paquete Ares del software Proteus.

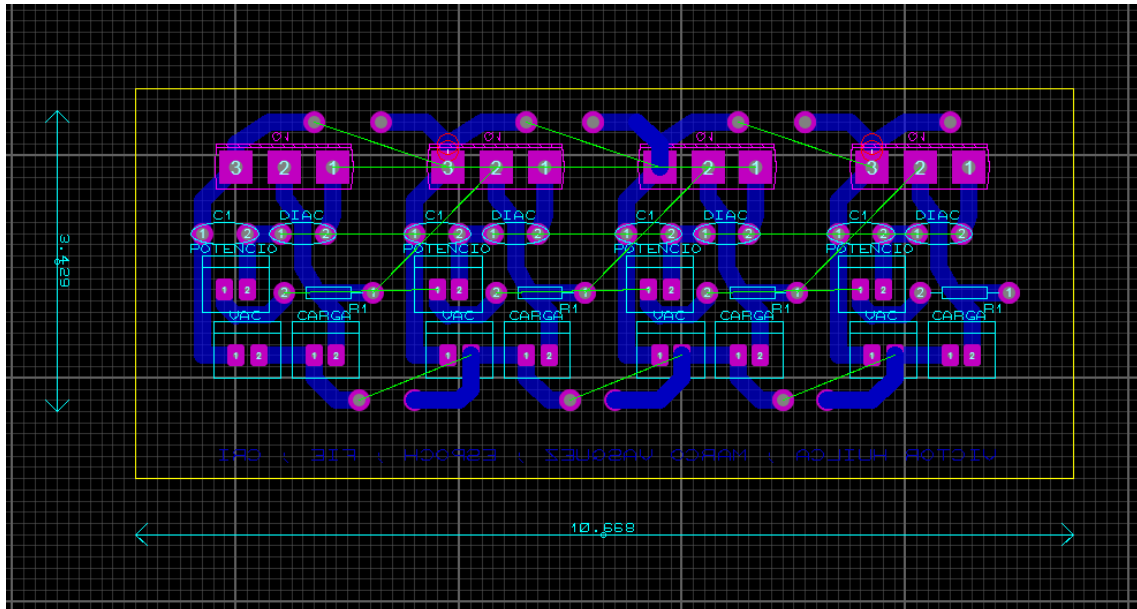


Figura 11-2 Diseño del circuito en ARES del controlador de fase

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

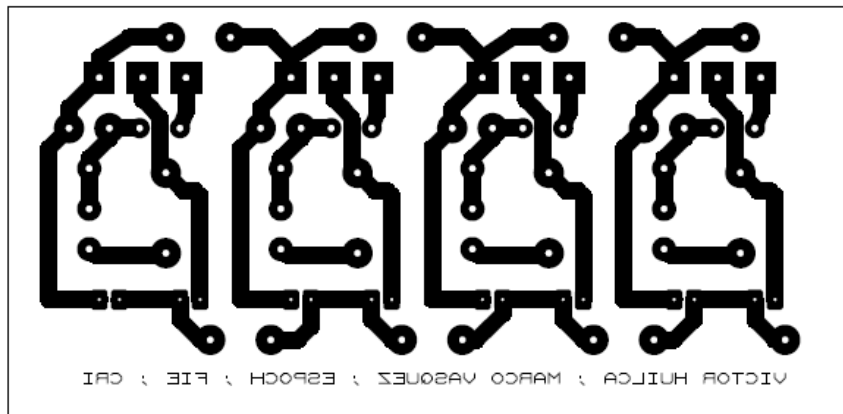


Figura 12-2 Diseño del circuito impreso del controlador de fase

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

El ancho de pista por donde circula 8A de corriente es 7.5 mm, por donde circula 2A es 3.5 mm y para corrientes de menos de 1A para las señales de control es 2mm.

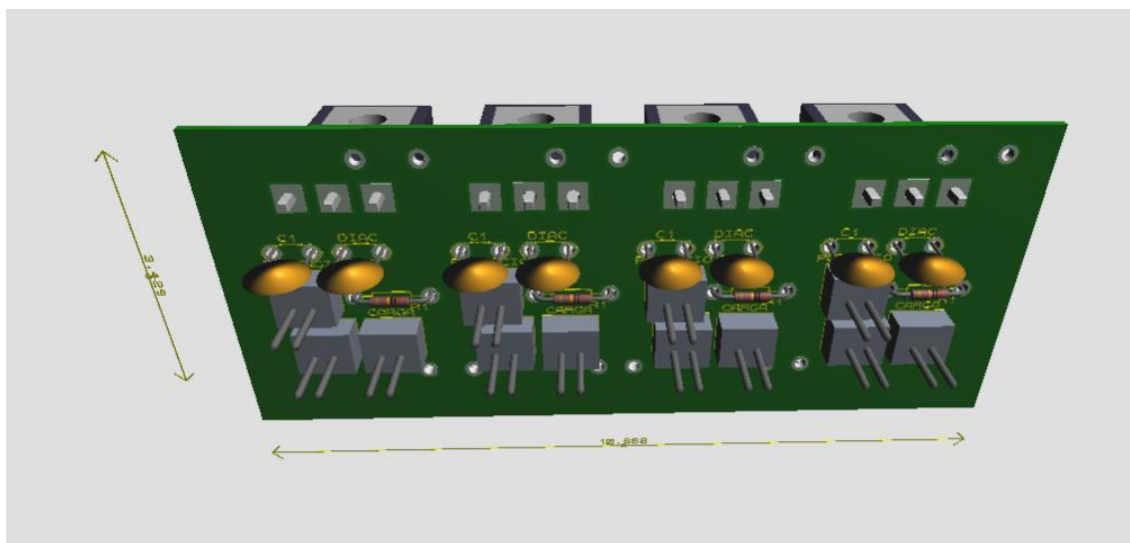


Figura 13-2 Vista 3D del controlador de fase

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

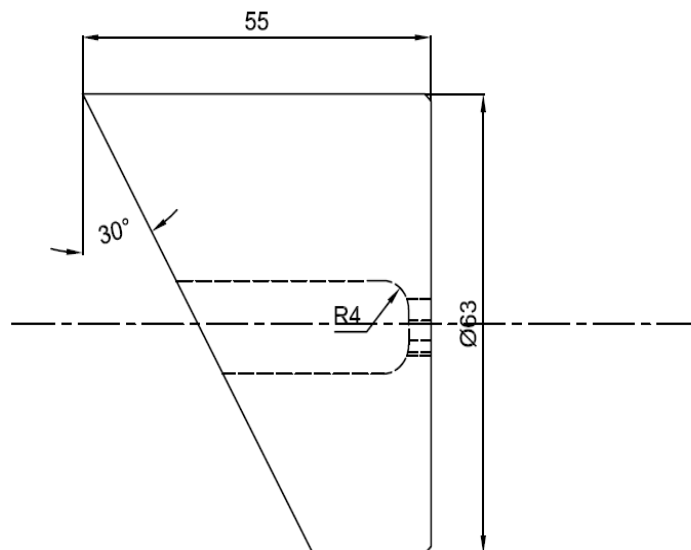


Figura 15-2 Vista 2D AUTOCAD lateral

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

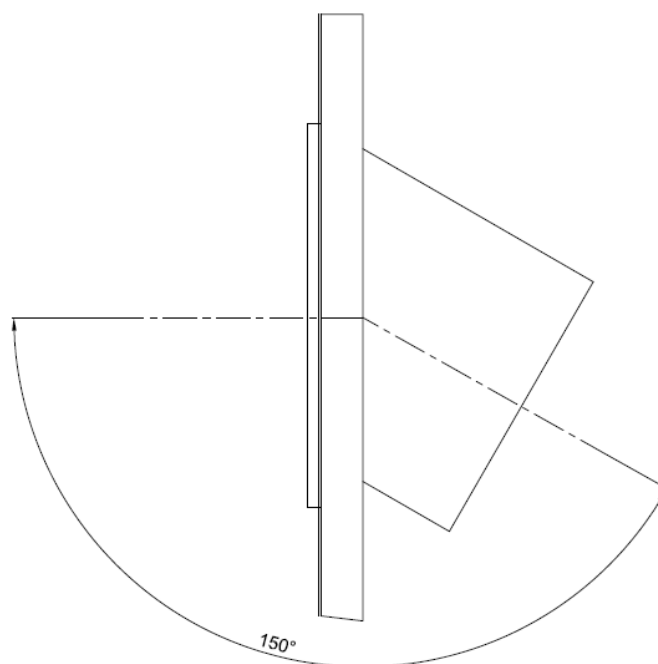


Figura 2.16 Vista 2D AUTOCAD lateral final

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

2.5 Diseño de la etapa de enrollado

2.5.1 *Diseño de enrollamiento AUTOCAD 2D*

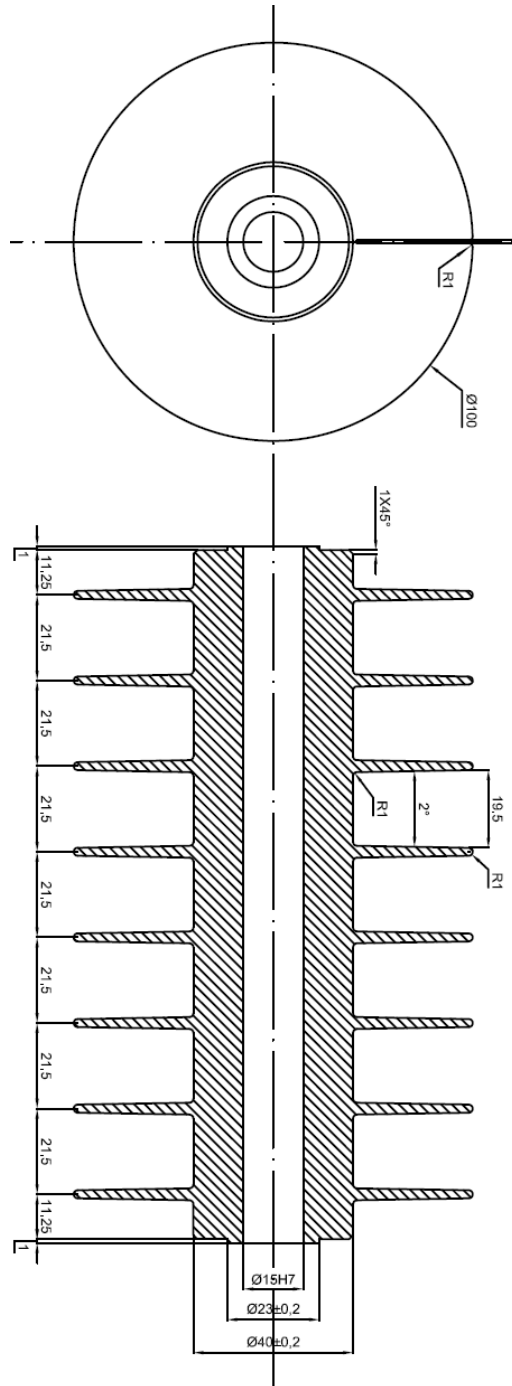
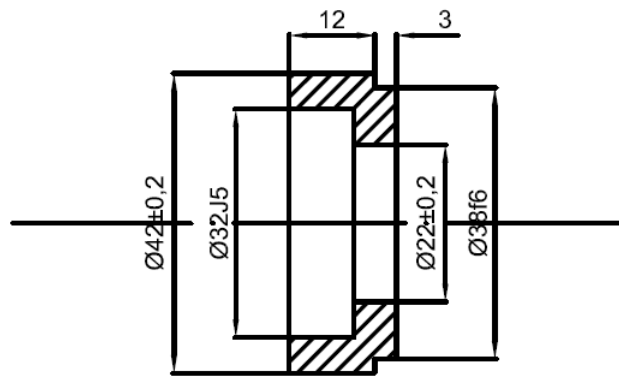


Figura 17-2 Vista 2D AUTOCAD frontal

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016



CAJERA ENDE AISI 304 PARA
RODAMIENTOS 6002 2RS

Figura 18-2 Vista 2D de cajera ENDE AISI 304 para rodamientos 6002 2RS

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

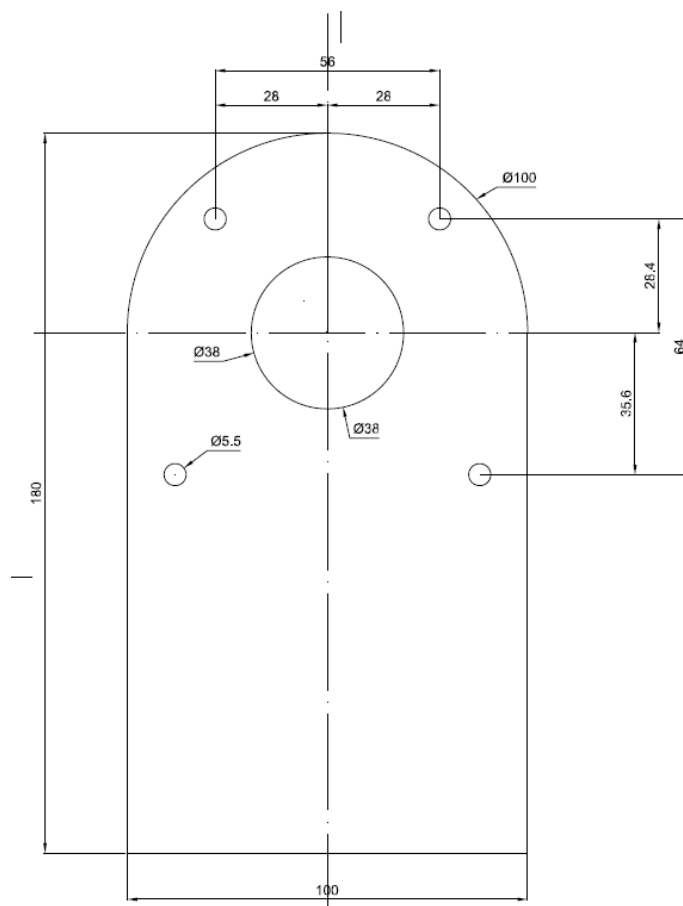


Figura 19-2 Vista 2D soporte del enrollamiento

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

2.6 PROGRAMACIÓN DEL PLC

2.6.1 Entradas

2.6.1.1 Entradas digitales

Tabla 3-2 Entradas Digitales

DESCRIPCIÓN	DESIGNACIÓN
Paro de Emergencia	X0
Sensor de Nivel bajo	X1
Sensor de Nivel alto	X2
Sensor Magnético	X3
Salto del Precalentamiento	X10

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

2.6.1.2 Entradas analógicas

Tabla 4-2 Entradas Analógicas

DESCRIPCIÓN	DESIGNACIÓN
PT100 Cabezal	ID1002
PT100 Tornillo	ID1003

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

2.6.2 Salidas

2.6.2.1 Salidas digitales

Tabla 5-2 Salidas Digitales

DESCRIPCIÓN	DESIGNACIÓN
Soplador	Y2
Niquelinas IN	Y3
Mesclador	Y4
Tornillo	Y5
Led Rojo	Y6
Niquelinas OUT	Y7
Bomba de Agua	Y10

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

2.6.3 GRAFCET

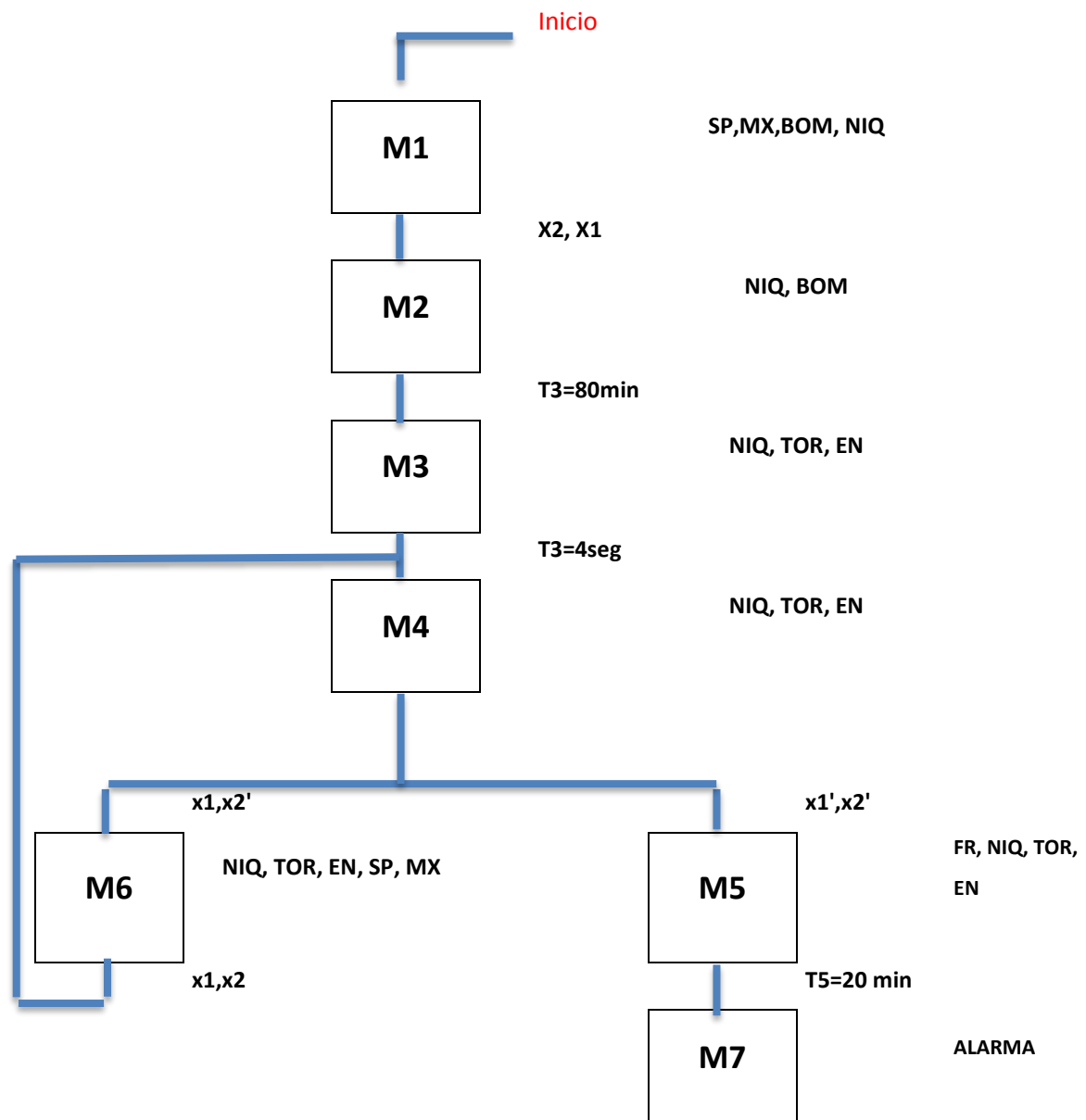


Gráfico 2-2 GRAFCET de la programación del PLC

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

SP: Soplador

NI: Niquelinas

FR: Foco rojo

MX: Mezclador

BOM: Bomba de Agua

EN: Enrollado

2.7 Programación del HMI

Al programar la HMI en un inicio se presenta una caratula, la cual posee por medio del botón (flecha abajo) permite continuar con las demás pantallas. Se tomó en cuenta el ingreso de valores de temperatura, ingreso de clave de seguridad y opciones de SI O NO, por lo cual se diseñó una ventana destinada para cada etapa.

En la ventana principal se muestran las temperaturas, el nivel y el estado actual del sistema, también existe un menú de botones los cuales permiten retroceder o adelantar cada ventana a:

- Precalentamiento (Se visualiza dos opciones de salto de precalentamiento de la máquina)
- Parámetros ingresados (Se muestran los detalles de las temperaturas ingresadas por cada una de las resistencia eléctricas)
- Detalles de temperatura (Aparece la gráfica de temperatura durante el tiempo)
- Sensores y actuadores (Se visualiza el estado de cada uno de los sensores y actuadores separados en analógicos y digitales)
- Prueba de Salidas (Aparecerá varios botones los cuales podemos activar las salidas en caso sea necesario realizar pruebas)
- Acerca de

Se muestra también los botones de Inicio “ENT” del sistemas, y Paro ”ESC” con sus respectivos indicadores usados para dar el pulso de inicio al proceso o parar el mismo respectivamente, además en la parte derecha de cada ventana se encuentra un panel en el cual se muestra las opciones para retroceder, avanzar a la siguiente ventana y Paro general.

Al finalizar el proceso o al presionar el botón de paro aparecerá una ventana principal con el estado actual de los sensores de nivel, temperatura, inicio y paro, el cual se podrá ver el estado que se encuentra el proceso.

2.8 Implementación del sistema eléctrico

2.8.1 Distribución de riel DIN y canaletas



Figura 20-2 Colocación de canaletas y Riel DIN

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

2.8.2 *Disposición de fusibles, contactor, PLC, fuente y borneras*

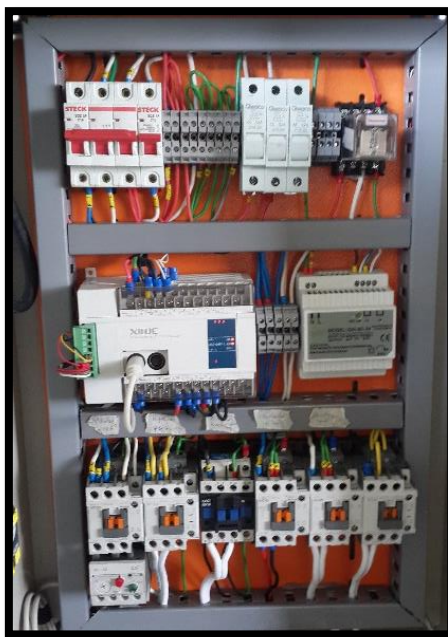


Figura 21-2 Elementos de Protección y Control Colocados en el Tablero

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

2.8.3 *Cableado de dispositivos de protección y control*

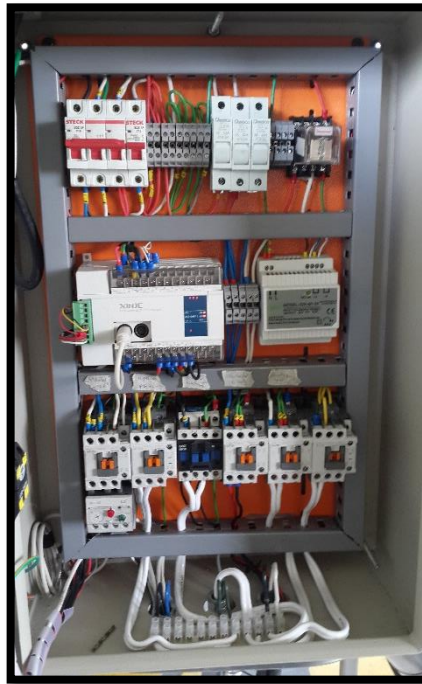


Figura 22-2 Cableado de los dispositivos de control y protección

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

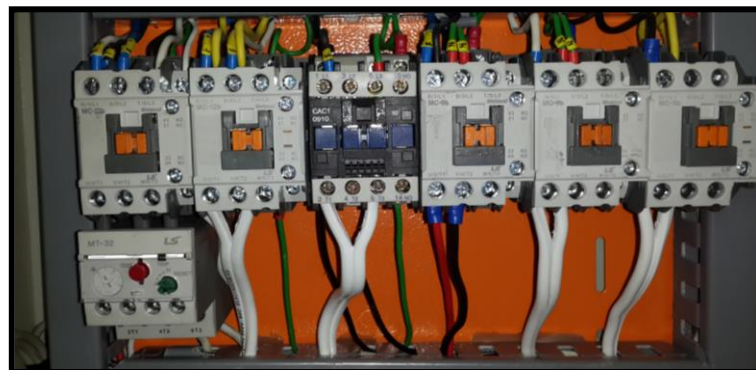


Figura 23-2 Colocación de los contactores

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

2.8.4 *Colocación de la pantalla HMI en el tablero*



Figura 24-2 Pantalla TouchWin

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

2.8.5 *Conexión de pantalla HMI, luces, botón de emergencia y botonera*

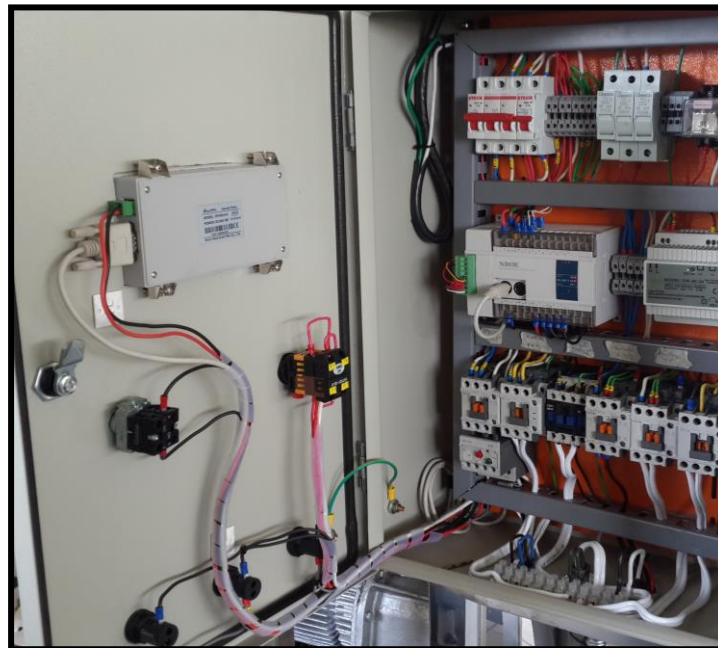


Figura 25-2 Vista interior de la tapa del tablero

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

2.8.6 *Tablero terminado*



Figura 26-2 Vista interior tablero terminado

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016



Figura 27-2 Vista exterior tablero terminado

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

2.9 Implementación del sistema electrónico

2.9.1 Implementación del circuito controlador de fase o DIMMER

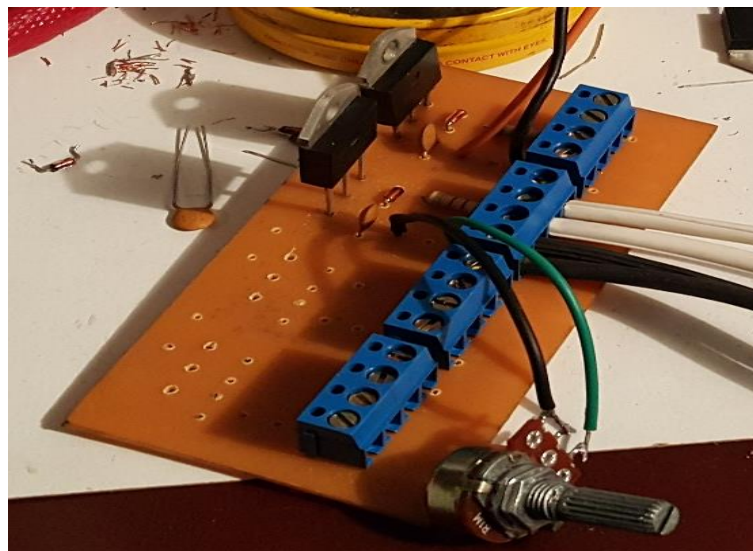
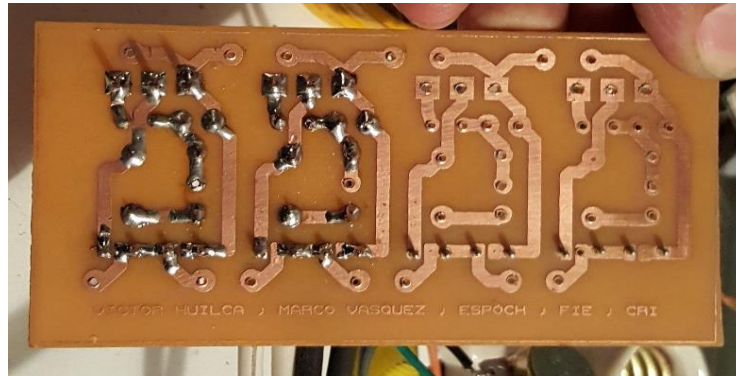


Figura 28-2 Controlador de fase o DIMMER vista de la placa inferior y superior

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

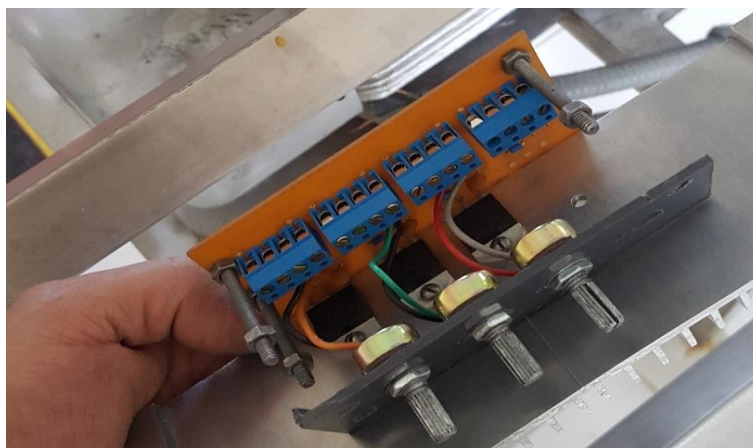


Figura 29-2 Controlador de fase o DIMMER terminado

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

2.10 Implementación del HMI

2.10.1 Pantalla inicial



Figura 30-2 Pantalla inicial HMI

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

2.10.2 Ingreso de clave de seguridad



Figura 31-2 Pantalla de ingresos de parámetros de funcionamiento

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

2.10.3 Selección del precalentamiento

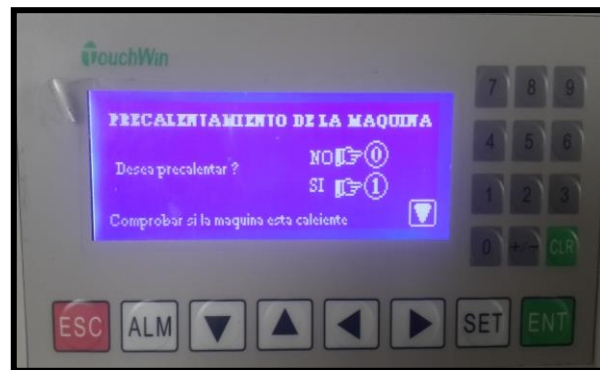


Figura 32-2 Pantalla de Precalentamiento

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

2.10.4 Ingreso de parámetros de funcionamiento temperatura del cabezal y tornillo



Figura 33-2 Pantalla de ingreso de temperatura del cabezal

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016



Figura 34-2 Pantalla de ingreso de temperatura del tornillo

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

2.10.5 Pantalla de menú principal



Figura 35-2 Pantalla de menú principal

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

2.10.6 Visualización de parámetros ingresados



Figura 36-2 Estado de entradas Analógicas y Digitales

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

2.10.7 Muestreo de la temperatura actual del Tornillo



Figura 37-2 Gráfica de temperatura en el tiempo

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

2.10.8 Opción y visualización de actuadores

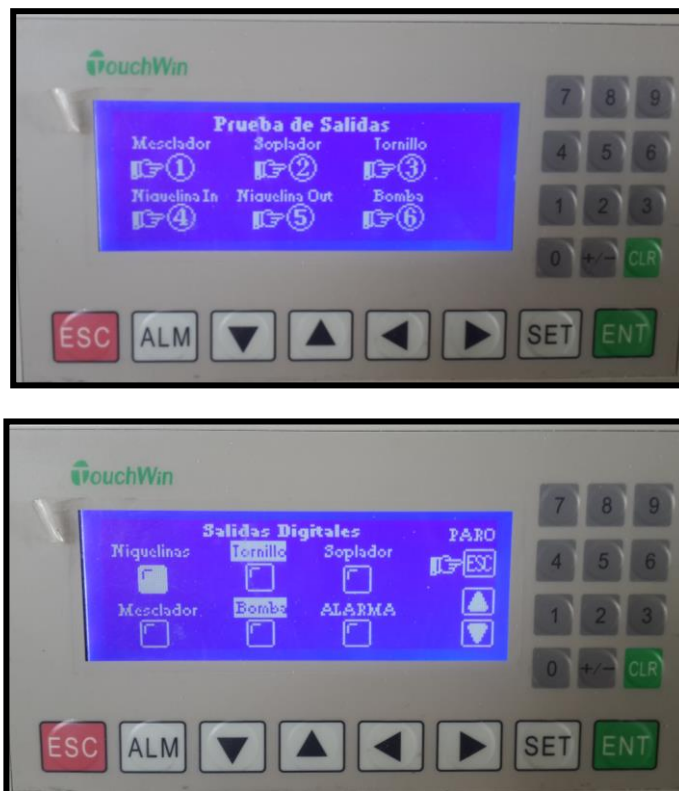


Figura 38-2 Pantallas de actuadores

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

2.10.9 Opción acerca de

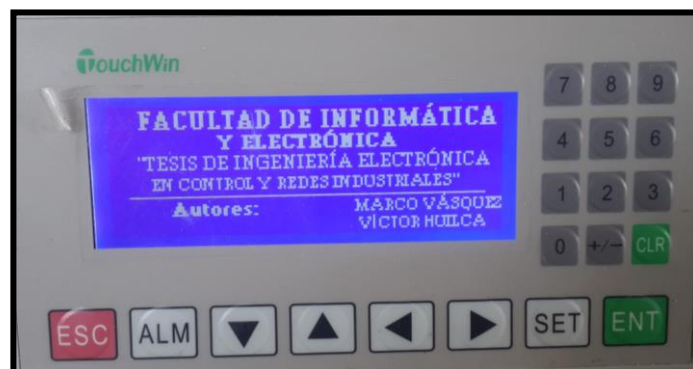


Figura 39-2 Pantalla de la opción "Acerca de"

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

2.11 IMPLEMENTACIÓN DEL NUEVO CABEZAL O NARIZ

2.11.1 *Vista frontal del cabezal*



Figura 40-2 Vista frontal de cabezal

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

2.11.2 *Vista Lateral del Cabezal*

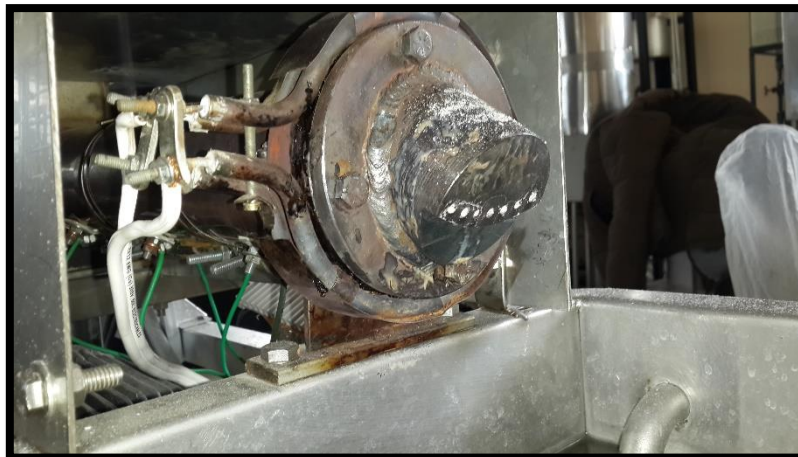


Figura 41-2 Vista lateral

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

2.12 IMPLEMENTACIÓN DEL DOSIFICADOR DE AIRE



Figura 42-2 Vista lateral del dosificador

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

Se implementó un ducto de aire el cual funciona como dosificador de material PET troceado desde la etapa de secado-dosificado hasta la tolva de la etapa de extrusión.

El aire que fluye por el ducto dosificador es generado por un soplador de 3600 RPM, suficiente para transportar la materia prima.

2.13 Implementación del sistema de enrollado



Figura 43-2 Vista Lateral

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

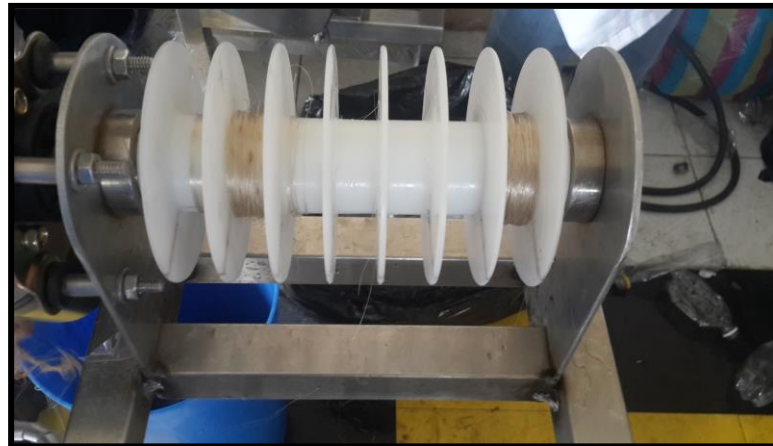


Figura 44-2 Vista Superior

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

CAPÍTULO III

3 MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Controlador de fase o dimmer

Diseñado para regular la potencia entregada a las niquelinas 1 y 3 de tornillo extrusor, las cuales tienen un consumo de 475.2 watts cada una.

El circuito controlador de fase de las niquelinas 1 y 3, esta alimentado con 220 VCA proveniente de las activaciones de los contactores asignados a dichas niquelinas.

Este circuito tiene el propósito de bajar el voltaje que alimenta a las niquelinas, reduciendo la sección de onda de CA.

Tabla 1-3 Escala de temperaturas de plastificación del PET, logradas con el controlador de fase.

Alimentación Núm. Niquelina	200,4VCA	209,1 VCA	207,4 VCA	209,1 VCA
Niquelina 1	230 °C	-	-	-
Niquelina 2	-	235°C	-	-
Niquelina 3	-	-	238°C	-
Niquelina 4	-	-	-	240°C

Realizado por VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

3.2 Sistema de control automático ON-OFF

La forma de control de las niquelinas del extrusor, se llevó a cabo por medio del control automático ON-OFF, el mismo que después de realizar varias pruebas con temperaturas acordes a las de plastificación del PET, se pudo obtener un sistema estable obteniendo excelentes resultados, abaratando costos y mejorando la eficiencia de la máquina en un 70.6%.

3.3 Variación de temperatura en las zonas monitoreadas por el sensor de temperatura en la máquina sin automatizar

Los resultados presentados a continuación fueron obtenidos en el sensor de temperatura (termocupla) previo a la automatización.

Tabla 2-3 Comportamiento de las niquelinas del tronillo extrusor a 240°C, sin automatizar.

TIEMPO (min)	TEMP INF	SET POINT	TEMPERATURA SUP
10	221.2	240	263.9
20	222.3	240	263.4
30	223.1	240	264.2
40	223.4	240	263.3
50	223.7	240	264.1
60	223	240	266
70	223.4	240	265.3
80	223.1	240	264.8
PROMEDIO	222.9	240	264.375

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

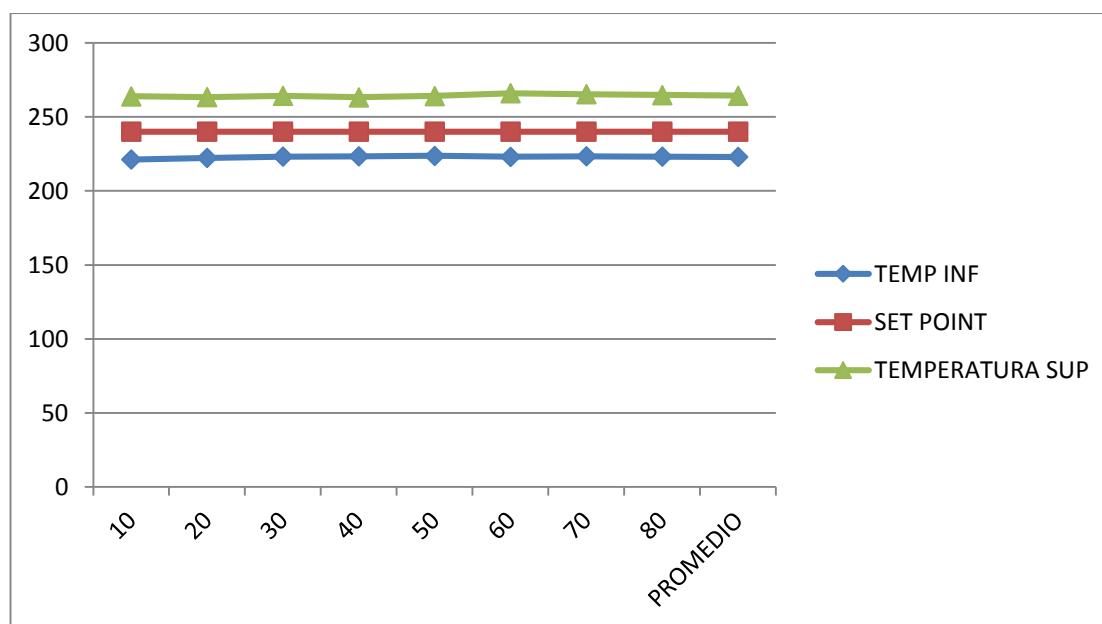


Gráfico 1-3 Comportamiento de niquelinas del tornillo sin automatizar

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

Tabla 3-3 Comportamiento de la niquelina del tornillo extrusor a 235°C, sin automatizar.

TIEMPO (min)	TEMP INF	SET POINT	TEMPERATURA SUP
10	216.2	235	263.9
20	217.3	235	263.4
30	218.1	235	264.2
40	218.4	235	263.3
50	218.7	235	264.1
60	218	235	266
70	218.4	235	265.3
80	218.1	235	264.8
PROMEDIO	217.9	235	264.375

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

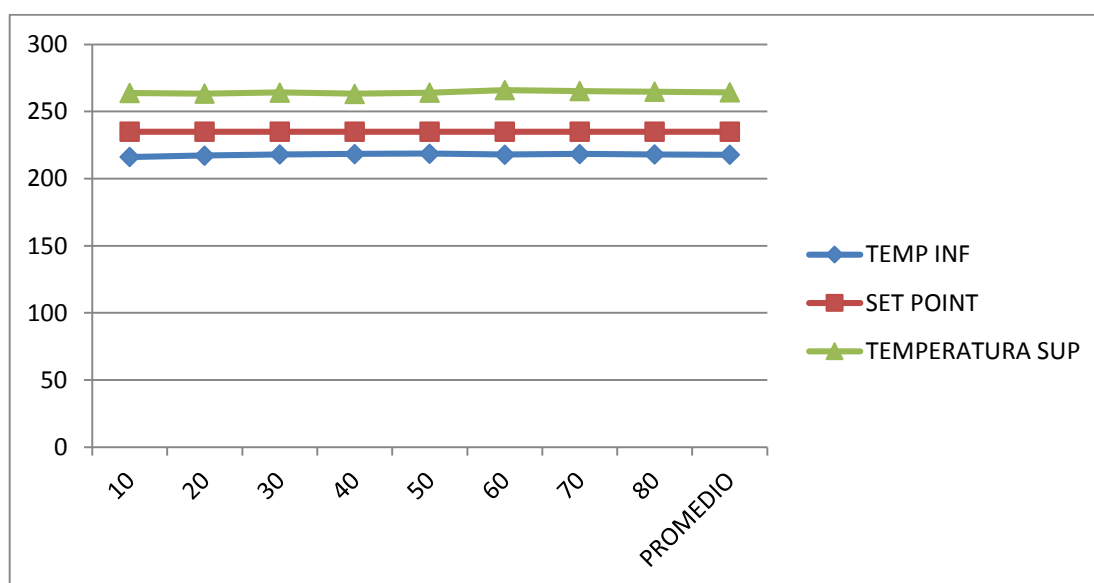


Gráfico 2-3 Comportamiento de las niquelinas del cabezal de salida sin automatizar.

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

3.4 Variación de temperatura en las zonas censadas por los pt100 con la máquina automatizada

Los resultados presentados a continuación fueron obtenidos en cada uno de los sensores PT100 instalados, y con un set point variado en la programación.

Tabla 4-3 Comportamiento de las niquelinas de entada del tronillo extrusor, set point variado en la programación y máquina automatizada.

TIEMPO (min)	TEMP INF	SET POINT	TEMPERATURA SUP
10	234.4	235	239.9
20	235.2	235	239.5
30	235.2	235	240.1
40	234.7	235	240
50	234.7	235	239.2
60	235.1	235	238.8
70	235	235	239.9
80	234.9	235	239.8
PROMEDIO	234.9	235	239.65

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

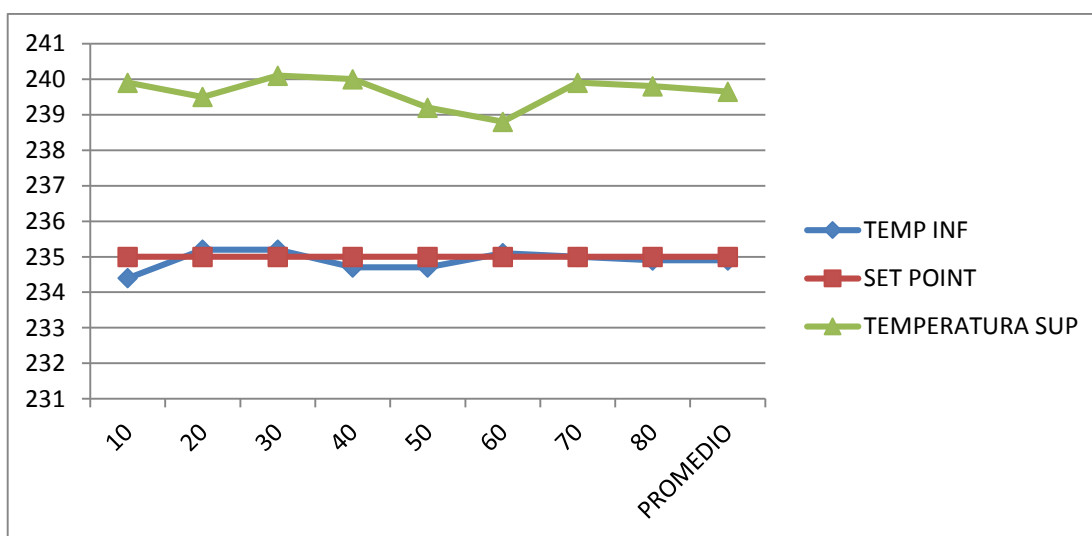


Gráfico 3-3 Comportamiento de las niquelinas del cabezal automatizado

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

Tabla 5-3 Comportamiento de las niquelinas de salida del tronillo extrusor, set point variado en la programación y máquina automatizada.

TIEMPO (min)	TEMP INF	SET POINT	TEMPERATURA SUP
10	239.3	240	245.9
20	239.6	240	246.3
30	239.6	240	245.9
40	239.6	240	245.9
50	240.2	240	246.1
60	240	240	245.7
70	240.1	240	246.3
80	240	240	245.9
PROMEDIO	239.6	240	246

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

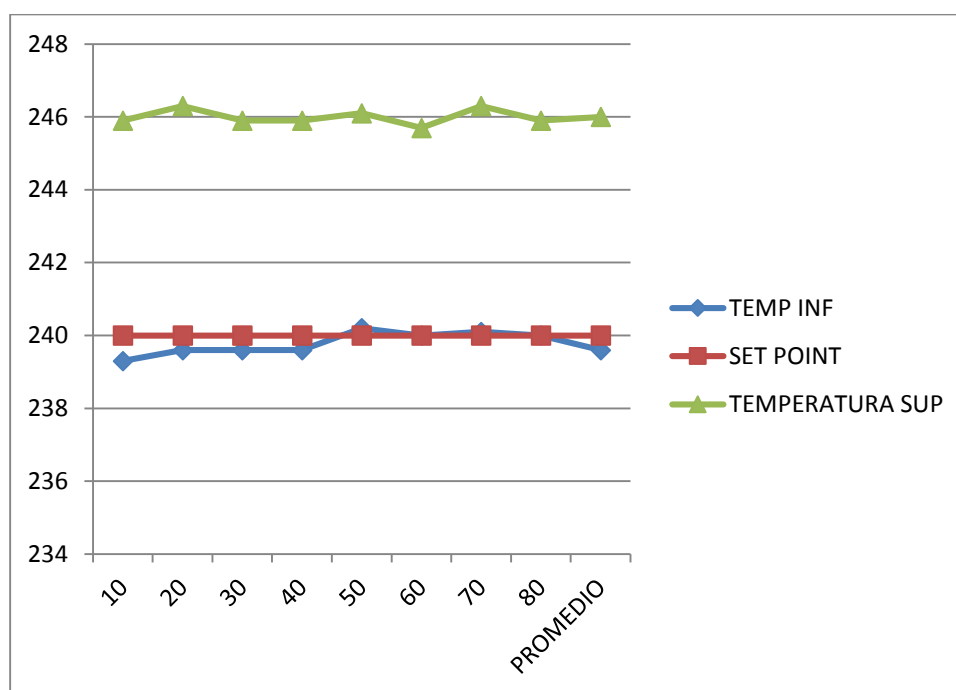


Gráfico 4-3 Comparación de consumo de electricidad

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

3.5 Resultados de funcionamiento

Para verificar el aporte de la automatización de la máquina en cuanto al control de la temperatura, se realizó pruebas que permitieron comparar a la máquina automatizada con el controlador de temperatura anterior (sin automatizar).

3.5.1 Etapa de niquelinas de entrada del tornillo extrusor.

Tabla 6-3 Resultados de niquelinas de entrada del tornillo extrusor

TIEMPO (min)	SET POINT	TEMP AUTOMATIZACION SIN	TEMP AUTOMATIZACION CON
10	235	216.2	234.4
20	235	217.3	235.2
30	235	218.1	235.2
40	235	218.4	234.7
50	235	218.7	234.7
60	235	218	235.1
70	235	218.4	235
80	235	218.1	234.9
PROMEDIO	235	217.9	234.9
ERROR		17.1	0.1

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

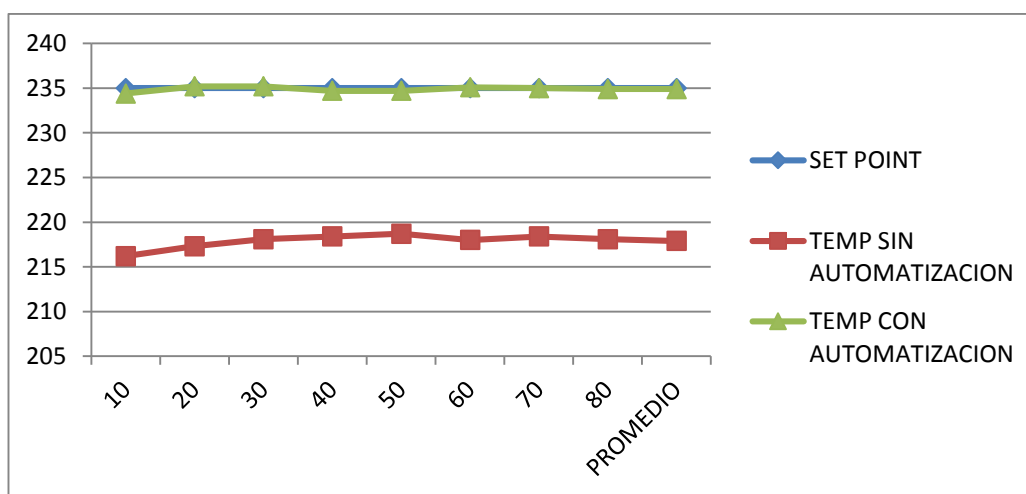


Gráfico 5-3 Comparación en la etapa de niquelinas de entrada del tornillo extrusor.

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

3.5.2 Etapa de niquelinas de salida del tornillo extrusor.

Tabla 7-3 Resultados de las niquelinas de salida del tornillo extrusor

TIEMPO (min)	SET POINT	TEMP AUTOMATIZACION SIN	TEMP AUTOMATIZACION CON
10	240	221.2	239.3
20	240	222.3	239.6
30	240	223.1	239.6
40	240	223.4	239.6
50	240	223.7	240.2
60	240	223	240
70	240	223.4	240.1
80	240	223.1	240
PROMEDIO	240	222.9	239.6
ERROR		17.1	0.4

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

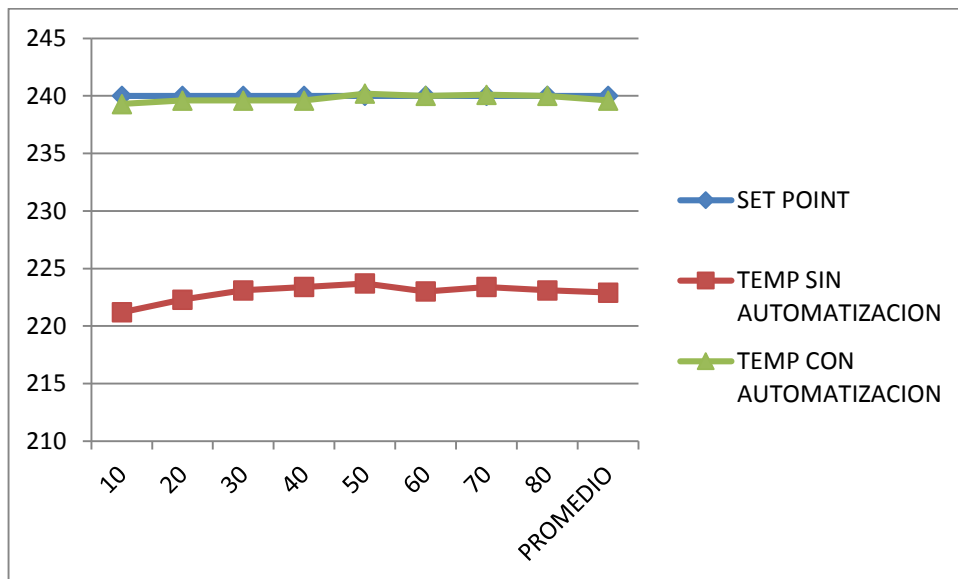


Gráfico 6-3 Comparación de resultados finales de temperatura

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

Con los valores obtenidos de la máquina sin automatizar, tomando en cuenta que tenía solo un punto de control o monitoreo de la temperatura, se comparó con la máquina ya automatizada, con 2 puntos de censado y 4 etapas de plastificación progresiva, se obtiene que. El proceso

automatizado tiene un error de 0.1 °C en las niquelinas de entrada y 0.4 °C en las niquelinas de salida, mientras que el proceso sin automatizar presenta un error de 17.1 °C durante todas las niquelinas del tornillo extrusor.

3.6 Consumo de potencia eléctrica de la máquina

La máquina presenta los siguientes datos de consumo en voltaje y potencia.

Tabla 8-3 Datos de consumo en voltaje y potencia

EQUIPO	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	POTENCIA (KW)
Extrusor	220	9	1.98
Mezclador	110	8.4	0.924
Soplador	110	2	0.22
Bomba agua	110	5	0.55
Enrollado	24	1	0.024
Niquelinas in	220	4.2	0.924
Niquelinas out	220	4.8	1.056

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

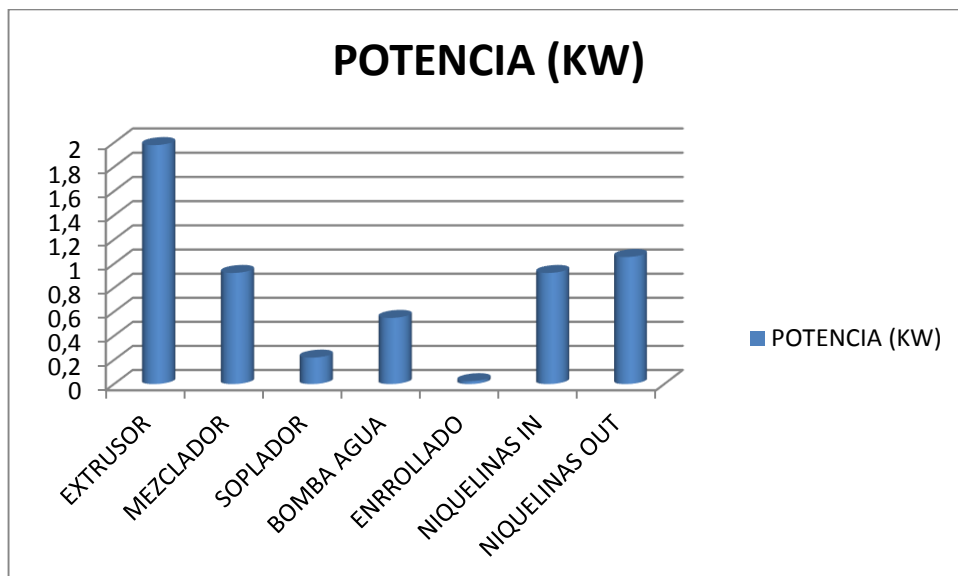


Gráfico 7-3 Comparación de consumo de electricidad

Realizado por: VASQUEZ, Marco- HUILCA, José, 2016

CONCLUSIONES

- La automatización implementada responde de forma satisfactoria al objetivo principal planteado en este trabajo, minimizando el tiempo invertido por parte del personal en el control del proceso garantizando la calidad del producto.
- Los parámetros y características de funcionamiento actuales de la línea de producción de hilo plástico han permitido establecer las condiciones óptimas de tiempo y temperaturas para obtener un producto de calidad.
- El reemplazo e implementación del sistema eléctrico, electrónico y mecánico han permitido poner en modo operativo a la línea de producción de hilo plástico, logrando así que se optimice el uso de equipos existentes en el Laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.
- El diseño e implementación de un sistema mecánico y electrónico de enrollamiento, fue satisfactorio logrando obtener un hilo de PET reciclado con un diámetro y enrollado en cada carrete aceptable para la industria.
- Debido a la estandarización de los lenguajes de programación de PLCs, el desarrollo del programa en el software del fabricante es muy amigable con el usuario. Además del hecho de que la comunicación con la computadora y el HMI no conlleva mayores inconvenientes.
- La implementación de la interfaz HMI permite el monitoreo constante de la temperatura y el nivel del material, permitiendo a los usuarios del equipo determinar si los elementos implementados en cada etapa permanecen en los parámetros adecuados.
- En el proceso de extrusión, la salida de material puede verse afectado debido a la variación de temperatura luego del precalentamiento del equipo y residuos de material sobrantes del proceso anterior.
- La comparación de resultados entre el funcionamiento de la máquina sin automatización presenta un error de estabilización de temperatura de $\pm 17^{\circ}\text{C}$, luego de la implementación de sistemas de automatización el error es de $\pm 5^{\circ}\text{C}$ mejorando la eficiencia de la estabilización de temperatura en 70.6%.

RECOMENDACIONES

- Al automatizar un proceso, se debe investigar y analizar todo lo relacionado al mismo, conociendo los parámetros que intervienen en cada una de las etapas, así como el funcionamiento de los equipos y demás elementos a ser utilizados.
- Al diseñar e implementar los sistemas eléctricos y electrónicos considerar los voltajes de funcionamiento de cada uno de los dispositivos que intervendrán en el sistema.
- No abrir el tablero de control mientras la línea de producción de hilo se encuentre funcionando, para evitar posibles daños o fallas en la máquina.
- Tener cuidado con la superficie del panel táctil, debido a que el agua, golpes, etc. pueden dañarlo considerablemente.
- Debido a que existen varios polímeros de alta y baja densidad, es recomendable que se realice la investigación de las características de cada uno.
- Antes y después de utilizar se debe verificar que el cabezal o nariz de la extrusora esté totalmente limpio.
- Adiestrar a cada uno de los operarios de la máquina, de tal manera que se haga un buen uso de la línea de producción garantizando un producto terminado de calidad.
- Antes de utilizar la maquinaria, se recomienda a los usuarios revisar el manual de instrucciones donde se detalla el ingreso de parámetros y funcionamiento de la máquina.